

**SÍNTESIS DE COMPUESTOS ORGÁNICOS OXIGENADOS A PARTIR DE REACTIVOS  
DE GRIGNARD: UNA PROPUESTA DIDÁCTICA PARA LA EXPLICACIÓN Y  
MODELACIÓN DE LOS MECANISMOS DE REACCIÓN EN LAS REACCIONES  
ORGÁNICAS.**

**OSCAR MAURICIO LESMES MARTÍNEZ**

**CESAR AUGUSTO SIERRA ÁVILA, Ph.D  
DIRECTOR**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
MAESTRÍA EN ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS NATURALES Y EXACTAS  
FACULTAD DE CIENCIAS  
BOGOTÁ, D.C. 2012**

*A mi padre, mi madre y mi esposa,  
raíces que desafían cualquier vendaval.  
A mis amigos y amigas  
flores que ahuyentan cualquier invierno.  
A los que me quieren y  
a quienes están por venir.*



## **RESUMEN**

Este trabajo de profundización de grado pretende que el estudiante desarrolle la capacidad de adquirir nuevos conocimientos, y que él mismo se haga partícipe de su aprendizaje proponiendo nuevos procesos en la obtención de compuestos químicos orgánicos oxigenados. Para ello, se distinguen tres fases: primero, una discusión precisa y documentada de elementos disciplinares pertinentes a la síntesis de compuestos orgánicos oxigenados a partir de reactivos de Grignard; segundo, un análisis del aspecto histórico y epistemológico de los tópicos de síntesis de compuestos orgánicos y mecanismos de reacción; y, por último, la discusión y elaboración de una propuesta didáctica basada en las teorías de aprendizaje significativo de Ausubel y Novak. Esta última busca que los estudiantes aborden las ideas acerca de cómo se obtienen algunos compuestos orgánicos y cómo se explican sus mecanismos de reacción, a través de trabajo experimental comprobable, novedoso, de acuerdo con un soporte didáctico que pretende mostrar la importancia de la actividad constructiva del estudiante dentro del aprendizaje significativo.

Palabras claves: Aprendizaje significativo, mecanismos de reacción, reactivo de Grignard, unidad didáctica.

## **ABSTRACT**

This undergraduate project attempts to allow students to develop their ability to acquire new knowledge participating in it, creating and proposing new processes for the obtaining of oxygenated organic chemical compounds. To reach this, there are three phases: first, there is a precise and documented discussion about disciplinary elements which deal with oxygenated organic compounds synthesized by the Grignard reaction; Second, there is a historic and an epistemological analysis of what is known as organic synthesis and organic reaction mechanisms. Finally, there is a discussion and a didactical proposal based on the Ausubel and Novak's meaningful learning theory. The last one seeks to provide the students with the opportunity to face some ideas about how some organic compounds are obtained and, how to explain their reaction mechanisms through innovative experimental procedures than can be verified with a didactic support. This will highlight the importance of the students' construction activity framed in the meaningful learning approach.

Keywords: learning approach, reaction mechanisms, Grignard reagent, teaching unit.

## Contenido

Resumen.....	III
Abstrac.....	IV
Lista de figuras.....	VII
Introducción.....	1
Objetivos.....	3
1. Profundización disciplinar.....	4
1.1 Compuestos organometálicos.....	4
1.2 El reactivo de Grignard: Un compuesto organometálico.....	5
1.3 Obtención de alcoholes a partir de reactivos de Grignard.....	7
1.4 Principales reacciones con reactivos de Grignard.....	8
1.5 Síntesis de alcoholes alquínicos.....	9
1.6 Síntesis de alcoholes terciarios a partir de ésteres.....	10
1.7 Síntesis de ácidos carboxílicos por carboxilación de reactivos de Grignard.....	10
1.8 Fundamentos en mecanismos de reacción.....	11
1.8.1 Ruptura y formación de enlaces.....	11
1.8.2 Clases de reactivos.....	12
1.8.3 Efecto inductivo, mesómero y estérico.....	12
1.8.4 Clases de reacción.....	14
2. Profundización histórico-epistemológica.....	16
2.1 Clasificación de las sustancias.....	16
2.1.1 La teoría vitalista.....	18
2.2 Las primeras síntesis.....	20
2.3 Surgen los mecanismos de reacción: Teoría de los radicales y de sustitución.....	21
2.3.1 Teoría electrónica de las reacciones orgánicas.....	24

2.4 Surge la química organometálica: Los reactivos de Grignard.....	25
3. Discusión didáctica soportada en el modelo de aprendizaje significativo.....	28
3.1 La unidad didáctica como herramienta de aprendizaje.....	28
3.2 El papel de las prácticas de laboratorio en la unidad didáctica.....	29
3.3 Componente didáctico: construcción del conocimiento desde un enfoque significativo.....	30
3.4 Teoría del aprendizaje significativo.....	31
3.4.1 Jerarquía conceptual.....	32
3.4.2 Aprendizaje por inclusión.....	33
3.4.3 Organizadores previos.....	34
3.4.4 Diferenciación progresiva.....	36
3.4.5 Un material potencialmente significativo.....	37
4. Anexo A Unidad didácticas: Obtención de funciones oxigenadas a partir de reactivos de Grignard y estudios de sus mecanismos de reacción.....	38
5. Conclusiones.....	39
6. Recomendaciones.....	40
Bibliografía.....	41

## Lista de figuras

Figura 1 Forma mono y dimérica del reactivo de Grignard en solución etérea.....	6
Figura 2 Complejo formado entre el reactivo de Grignard y el éter.....	6
Figura 3 Obtención de un alcohol primario a partir de formaldehído y un reactivo de Grignard.....	7
Figura 4 Obtención de un alcohol secundario a partir de aldehído y un reactivo de Grignard.....	7
Figura 5 Obtención de un alcohol terciario a partir de cetona y un reactivo de Grignard....	7
Figura 6 Principales reacciones de los reactivos de Grignard.....	8
Figura 7 Principales reacciones de sustitución y de acoplamiento carbono-carbono.....	9
Figura 8 Síntesis de alcoholes alquínicos.....	10
Figura 9 Síntesis de un alcohol terciario a partir de un reactivo de Grignard y un éster....	10
Figura 10 Síntesis de ácidos carboxílicos por carboxilación de reactivos de Grignard.....	11
Figura 11 Tipos de ruptura de un enlace covalente.....	11
Figura 12 Efecto inductivo.....	13
Figura 13 Efecto mesómero o conjugativo.....	14
Figura 14 Síntesis de la urea llevada a cabo por Wöhler.....	19
Figura 15 Tipos de aprendizaje significativo .....	32
Figura 16 Esquema de jerarquía conceptual de Novak.....	33
Figura 17. Organizadores previos según Novak.....	35



## INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha incrementado la producción de nuevos compuestos orgánicos tanto a nivel industrial farmacéutico como en el laboratorio de investigación, donde cabe destacar, debido a su importancia y versatilidad sintética, el uso de reactivos de Grignard como intermediarios en reacciones orgánicas. Los reactivos de Grignard no solo tienen importancia en la industria e investigación como se mencionó anteriormente, sino que son utilizados en el aula de clase para explicar la transformación de diferentes grupos funcionales entre los que se pueden encontrar alcoholes, éteres, ácidos orgánicos, aldehídos, cetonas, hidrocarburos, nitrilos, y haluros de alquilo, entre otros.

Cada vez es más frecuente encontrar, entre docentes y estudiantes del Distrito Capital que el tema relacionado con reactivos de Grignard, no solo se le ha restado interés sino que además ha perdido vigencia a la hora de explicar los grupos funcionales y sus mecanismos de transformación en el aula; esto se debe a que no se cuenta con las herramientas metodológicas ni didácticas necesarias para abordar estos temas de una manera eficaz y más interesante.

Con base en lo anterior, se hace necesario diseñar una propuesta que se enfoque en la elaboración de una unidad didáctica que resuelva problemas como: ¿Qué aspectos de tipo teórico y experimental relacionados con el reactivo de Grignard deben ser considerados con fines de potencial didáctico?; ¿Qué características deben ser consideradas en el diseño de la unidad didáctica para la síntesis de compuestos orgánicos a partir de reactivos de Grignard, acordes con los planteamientos del constructivismo?; ¿Cómo hacer para que los mecanismos de reacción química se conviertan o sean útiles como tema de alto potencial didáctico a la hora de abordar temas sobre reactividad, grupos funcionales, mecanismos de reacción, enlace, cinética, energía, estabilidad y otros?; ¿Se puede solucionar la dificultad de tiempo para el desarrollo curricular de los temas de orgánica?

Para lograr esto, se requiere que los procesos educativos sean novedosos e innovadores no solo a nivel curricular, sino en sus principios didáctico-pedagógicos, en las ayudas audiovisuales y en las nuevas tecnologías empleadas tanto en lo teórico como en lo práctico. Esto con el fin de permitir que los estudiantes desarrollen ampliamente sus capacidades cognitivas, actitudinales, evidencien sus aptitudes y se apropien así del conocimiento.

Por otro lado, conociendo la importancia que tiene la química orgánica en los procesos cotidianos naturales y sabiendo que esta hace parte de los currículos de secundaria, se ve la necesidad que estos cursos sean orientados y trabajados más a partir de experiencias, como lo proponen las últimas investigaciones sobre el aprendizaje por investigación.

Esto se ve reforzado con las nuevas tendencias didácticas entre ellas la de aprendizaje significativo de Ausubel y la teoría de la educación de Novak, la cual considera que si se abordan los temas no solo a nivel conceptual sino también experimental, se facilitará su

comprensión ya que el estudiante, además de ser partícipe de su propio conocimiento podrá abordar diversos problemas, asumiendo estos como una investigación.

Así mismo, después de realizar una revisión bibliográfica exhaustiva se encontró que no existen trabajos en los cuales el empleo del reactivo de Grignard se haya utilizado como herramienta didáctico pedagógica en la enseñanza de los diferentes grupos funcionales que constituyen el estudio de la química orgánica.

Con base en lo anterior, la presente profundización se desarrollará de manera teórica, con el objeto de presentar a los docentes, una propuesta didáctico-pedagógica la cual se tendrá como criterio el constructivismo y la teoría de educación propuesta por Novak, teniendo en cuenta los temas relacionados con química orgánica y obtención de compuestos orgánicos a partir del reactivo de Grignard. Con el soporte pedagógico que dicho trabajo requiere, se realizará un desarrollo experimental que fortalecerá la base conceptual, para afianzar las concepciones acerca de los mecanismos de reacción y temas afines a las reacciones orgánicas.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Diseñar una unidad didáctica que permita abordar los temas relacionados con las reacciones orgánicas, explicando la importancia de los mecanismos de reacción en la modelación de síntesis orgánicas a partir del reactivo de Grignard, dirigida a los estudiantes de grado undécimo de los colegios Mallerland y Liceo Campo David, de la ciudad de Bogotá.

### **Objetivos Específicos**

-Realizar una discusión precisa y documentada sobre el papel del reactivo de Grignard en la síntesis de compuestos orgánicos oxigenados así como de los mecanismos de reacción que se llevan a cabo.

-Analizar los aspectos histórico-epistemológicos relacionados con el reactivo de Grignard y los mecanismos de reacción involucrados en la síntesis de compuestos orgánicos.

-Elaborar un texto en el que se expliquen claramente los referentes teóricos que orientan la teoría constructivista y los aportes a ella de Novak y Ausubel.

-Diseñar una unidad didáctica basada en el constructivismo y la teoría de educación de Novak, relacionando así los fundamentos teóricos y prácticos que permitan abordar los temas relacionados con mecanismos de reacción y el reactivo de Grignard.

## ESTADO DEL ARTE

### CAPÍTULO I

#### 1. Profundización disciplinar

##### 1.1 Compuestos organometálicos

Los compuestos organometálicos contienen enlaces covalentes entre átomos de carbono y átomos metálicos. Este tipo de enlaces son muy útiles porque forman átomos de carbono nucleofílicos, en contraste con los átomos de carbono electrofílicos presentes en los halogenuros de alquilo. La formación de estos carbonos nucleofílicos se explica si se tiene en cuenta que la mayor parte de los metales son más electropositivos que el carbono, y el enlace C – M está polarizado con una carga positiva parcial en el metal y una negativa parcial en el carbono.

Por sus propiedades físicas, la mayoría de los compuestos organometálicos se parecen más a los compuestos orgánicos que a los inorgánicos. Muchos poseen estructuras moleculares discretas y en consecuencia a temperaturas ordinarias existen como cristales de bajo punto de fusión, líquidos o gases. Normalmente son solubles en disolventes orgánicos débilmente polares como el tolueno, éteres o alcoholes. Sus propiedades químicas varían mucho de la misma forma que sucede con los compuestos orgánicos sencillos, su estabilidad térmica depende marcadamente de su composición química. Por ejemplo, el tetrametilsilano ( $\text{CH}_3)_4\text{Si}$ ) permanece sin cambios después de muchos días a  $500^\circ\text{C}$ , mientras que el tetrametiltitanio se descompone rápidamente a temperatura ambiente. De forma similar, existen grandes diferencias en su estabilidad cinética frente a la oxidación; algunos, por ejemplo,  $\text{CH}_3\text{Si}$  y  $\text{CH}_2\text{Hg}$ , no son atacados a temperatura ambiente por el oxígeno del aire, mientras que otros como  $\text{CH}_3\text{B}$  y  $\text{CH}_2\text{Zn}$  inician combustión espontáneamente.<sup>1</sup>

Los compuestos organometálicos se pueden clasificar convenientemente según el tipo de enlace metal-carbono que tienen. Hay que recordar que el carbono es un elemento de electronegatividad media (2.5 según la escala de Pauling) y en consecuencia puede esperarse que forme enlaces iónicos solamente con los elementos más electropositivos y enlaces covalentes con otros elementos como el hidrógeno, el bromo y el mismo carbono, entre otros.

Por tanto, el enlace metal-carbono más sencillo consiste esencialmente en un enlace simple covalente M-C, por dos electrones. Dependiendo de la electronegatividad del metal M y en menor extensión de la de C, se produce una gran variación del carácter iónico de tales enlaces, que va desde los esencialmente iónicos, por ejemplo,  $\text{Ph}_3\text{C-Na}^+$ ;  $(\text{C}_5\text{H}_5)^-$

---

<sup>1</sup> JENKINS, Paul. 1992. Organometallic reagents in synthesis. Oxford science publications. Pág1-6.

Mg<sup>2+</sup> a los predominantemente covalentes, como B-C en CH<sub>3</sub>B ó Si-C en CH<sub>4</sub>Si. Por ejemplo el enlace B-C en CH<sub>3</sub>B (diferencia de electronegatividad en la escala de Pauling,  $X_C - X_B = 2.5 - 2.1 = 0.4$ ) tiene un carácter iónico menor que el Al - C en la forma monómerica del CH<sub>3</sub>Al (diferencia de electronegatividad  $X_C - X_{Al} = 2.5 - 1.6 = 0.9$ ).<sup>2</sup>

La formación de los compuestos iónicos está especialmente favorecida cuando puede estabilizarse el anión hidrocarbonado, por ejemplo, cuando la carga negativa puede deslocalizarse sobre varios átomos de carbono en un sistema aromático o no saturado. El radical C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>• acepta fácilmente un electrón para dar lugar al anión C<sub>6</sub>H<sub>5</sub><sup>-</sup>, en el que los seis electrones  $\pi$  forman un sistema aromático deslocalizado semejante al que presenta el benceno. Estos aniones estables pueden formar sales de carácter esencialmente iónico con los cationes de metales electropositivos (lo mismo que los aniones de haluro), por ejemplo Mg<sub>2</sub><sup>+</sup>(C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>)<sub>2</sub><sup>-</sup>.

## 1.2 El reactivo de Grignard: un compuesto organometálico.

Los compuestos organometálicos se pueden preparar a partir de halogenuros orgánicos y se considera que tienen una estructura de tipo R<sup>-</sup> M<sup>+</sup>. La mayor importancia de los compuestos organometálicos en la química orgánica está en la versatilidad que presentan como intermediarios en síntesis orgánica.

Entre los compuestos organometálicos se encuentran los reactivos de Grignard, que de forma general pueden denominarse como “haluros de magnesio” ya que su estructura general es R-Mg-X, donde R puede ser un alquilo, alquenilo o arilo y el X es un halógeno (I, F, Cl y Br). Estos compuestos deben su nombre a Víctor Grignard, pionero en el trabajo con estos compuestos y quien fue premiado por su trabajo en síntesis orgánica con el premio Nobel en 1912.

A pesar del tiempo transcurrido y del gran número de trabajos de investigación que lo involucran, la estructura química de los reactivos de Grignard aún está en discusión (Griffin, 1981). Dicha estructura no es apreciablemente iónica, dado que su mejor disolvente es el éter, que es un disolvente no polar. Hay evidencia experimental que sugiere que el reactivo monomérico está en equilibrio con varias formas diméricas en las disoluciones en éter (Figura 1).

---

<sup>2</sup> COATES, G. GREEN, M.1975. Principios de química organometálica. Editorial Reverté, S.A.

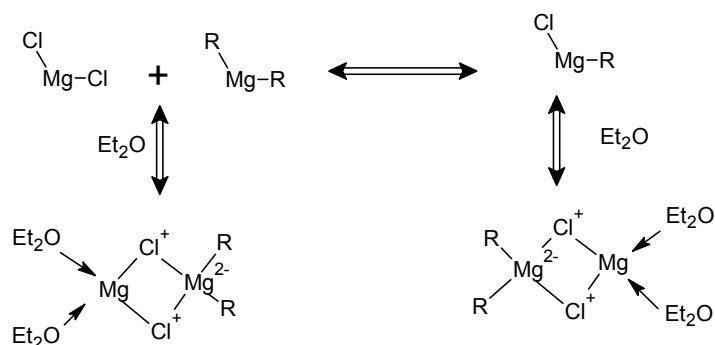


Figura 1. Forma mono y dimérica del reactivo de Grignard en solución etérea.

La excelente solubilidad del reactivo de Grignard en éter se atribuye a la capacidad del éter para formar complejos con el metal de magnesio a través de pares de electrones del átomo de oxígeno como se observa en la Figura 2.<sup>3</sup>

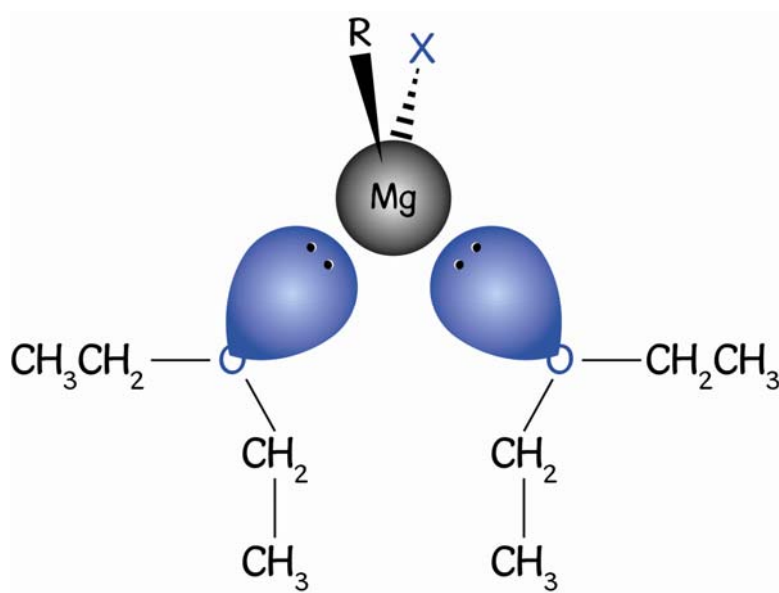


Figura 2. Complejo formado entre el reactivo de Grignard y el éter.

<sup>3</sup> 4. WU, C.N. 1983. Química Orgánica Moderna. Compañía editorial Continental, S.A. Volumen 1 pág. 237.

### 1.3 Obtención de alcoholes a partir de reactivos de Grignard

Si se agrega un reactivo de Grignard al formaldehído seguido por la protonación, se obtiene un alcohol primario con un átomo más de carbono que los que había en el reactivo de Grignard. Esta reacción en forma general se llama una adición nucleofílica al carbonilo como se aprecia en la Figura 3.

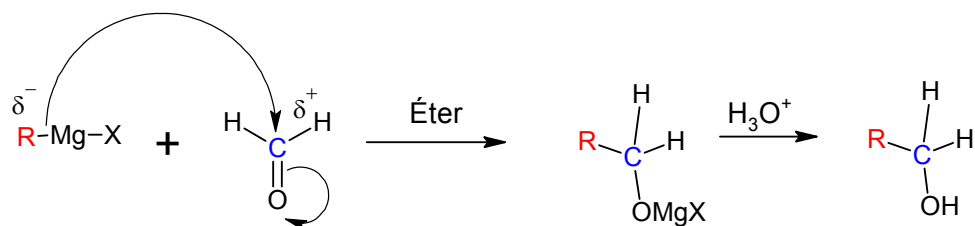


Figura 3. Obtención de un alcohol primario a partir de formaldehído y un reactivo de Grignard.

Los reactivos de Grignard se pueden agregar a aldehídos diferentes al formaldehído, para dar, después de la protonación, alcoholes secundarios. Uno de los dos grupos alquilo del alcohol secundario proviene del reactivo de Grignard, que se adiciona al grupo carbonilo del aldehído como se observa en la Figura 4.

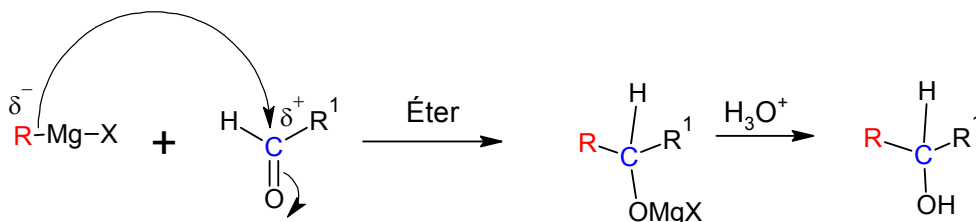


Figura 4. Obtención de un alcohol secundario a partir de aldehído y un reactivo de Grignard.

Una cetona tiene dos grupos alquilo enlazados al carbono del carbonilo. La adición del reactivo de Grignard, seguida de protonación, produce un alcohol terciario con tres grupos alquilo enlazados al átomo de carbono con la función hidroxilo (OH). Dos de los grupos alquilo provienen de la cetona. El tercer grupo alquilo hacia parte del reactivo de Grignard, como se indica en la Figura 5.

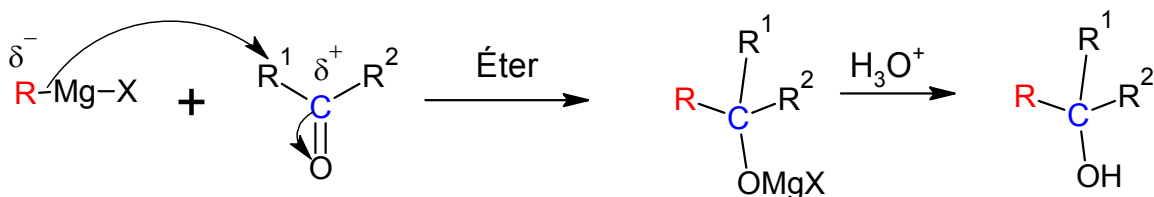


Figura 5. Obtención de un alcohol terciario a partir de Cetona y un reactivo de Grignard.

#### 1.4 Principales reacciones con reactivos de Grignard

Los reactivos de Grignard no solo presentan reacciones con grupos carbonilos. Su capacidad de reacción es tan abundante que allí radica su gran importancia para la química orgánica y la síntesis de un gran número de compuestos orgánicos.

La Figura 6 presenta algunas de las reacciones más importantes con reactivos de Grignard y sus productos. En ella, además de las reacciones antes mencionadas, se pueden observar reacciones para la obtención de ácidos orgánicos, aminas, cetonas e intermediarios de gran importancia como las iminas.

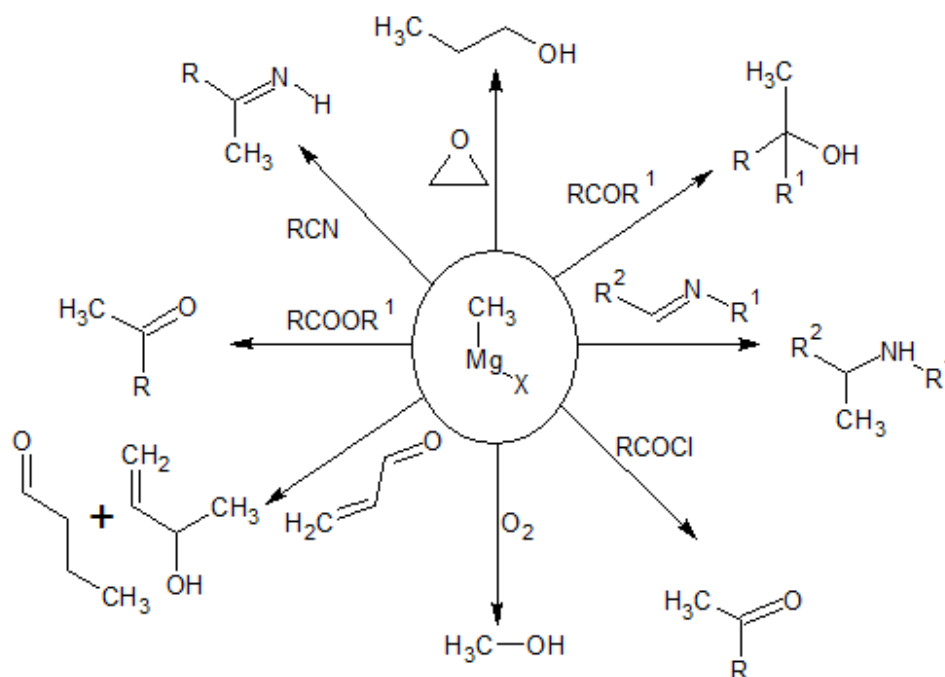


Figura 6. Principales reacciones de los reactivos de Grignard.

La Figura 7 presenta reacciones de sustitución y de acoplamiento carbono-carbono que son de gran importancia en la síntesis de compuestos orgánicos a partir de reactivos de Grignard.



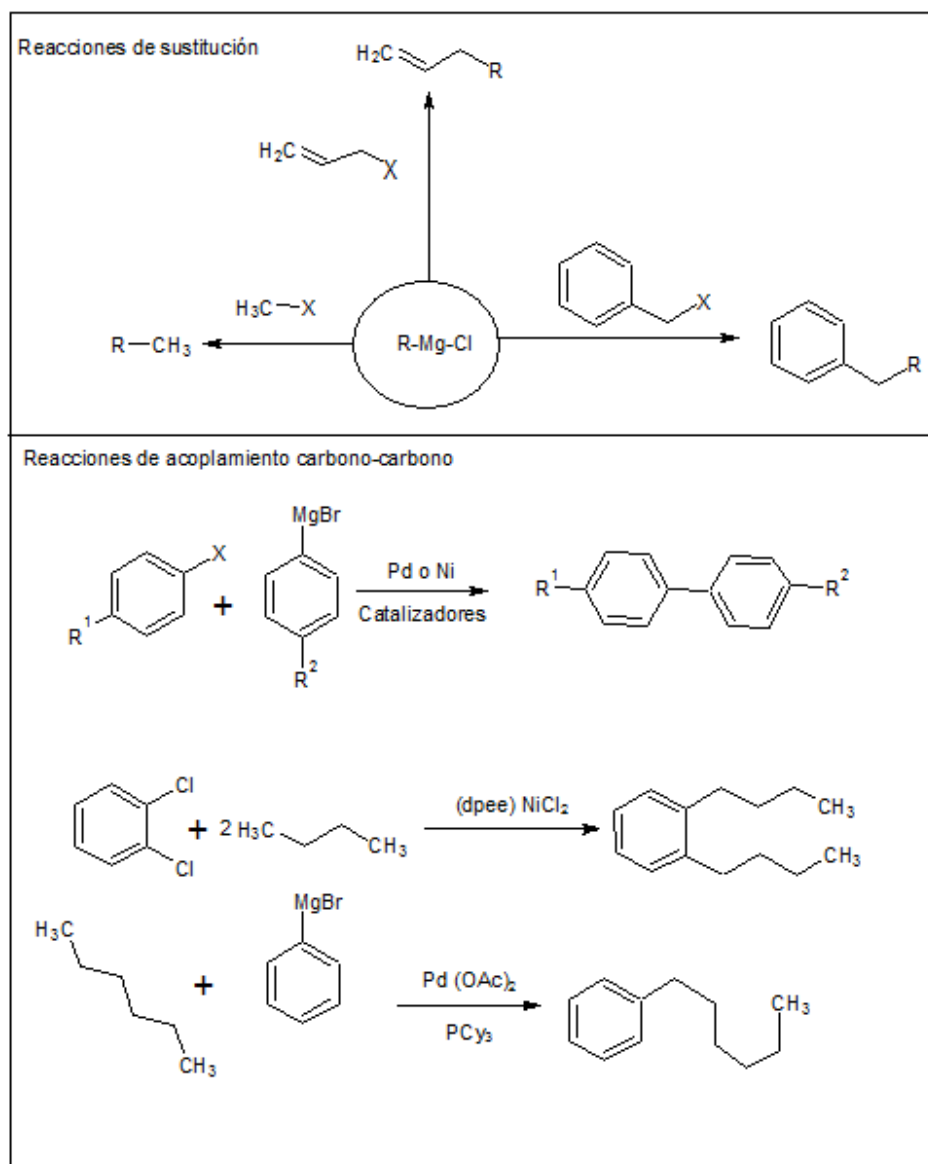


Figura 7. Principales reacciones de sustitución y de acoplamiento carbono-carbono

### 1. 5 Síntesis de alcoholes alquínicos.

Los reactivos de Grignard alquínicos del tipo  $\text{RC}\equiv\text{CMgBr}$  no se preparan a partir del haluro alquínic, sino por una reacción ácido-base en la cual el reactivo de Grignard abstrae el protón ácido del alquino como se muestra en la Figura 8.

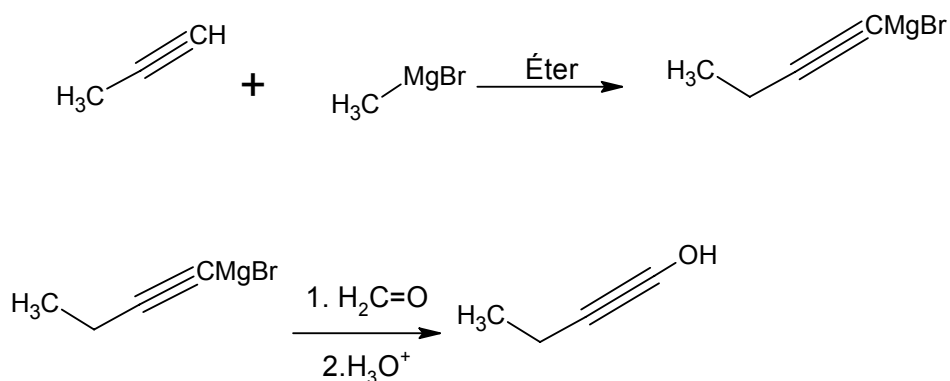


Figura 8. Síntesis de alcoholes alquínicos.

### 1.6 Síntesis de alcoholes terciarios a partir de ésteres

Los alcoholes terciarios pueden prepararse mediante una variante de la síntesis de Grignard que utiliza un éster como componente carbonílico. Los ésteres metílicos y etílicos son los más fácilmente disponibles y los que se pueden utilizar con mayor frecuencia. Se requieren dos moles de reactivo de Grignard por mol de éster; el primer mol reacciona con el éster y lo convierte en una cetona. La cetona no se aísla, sino que reacciona rápidamente con el reactivo de Grignard para dar, después de añadir ácido acuoso, un alcohol terciario como se muestra en la Figura 9.

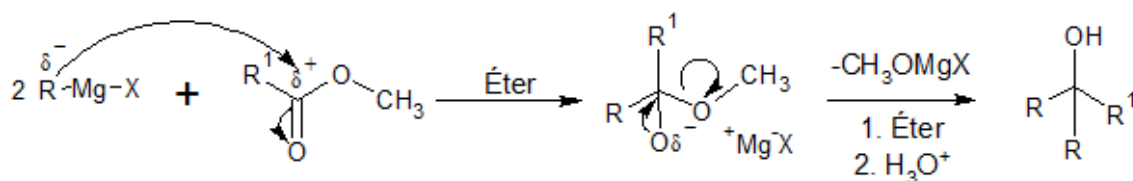


Figura 9. Síntesis de un alcohol terciario a partir de un reactivo de Grignard y un éster.

### 1.7 Síntesis de ácidos carboxílicos por carboxilación de reactivos de Grignard

Los reactivos de Grignard reaccionan con el dióxido de carbono, que actúa como electrófilo, para dar sales de magnesio de los ácidos carboxílicos. La acidificación convierte las sales de magnesio a los ácidos carboxílicos deseados.

En su conjunto, la carboxilación de los reactivos de Grignard transforma un haluro de alquilo o arilo en un ácido carboxílico en el cual el esqueleto carbonado ha aumentado en un átomo de carbono como se muestra en la Figura 10.

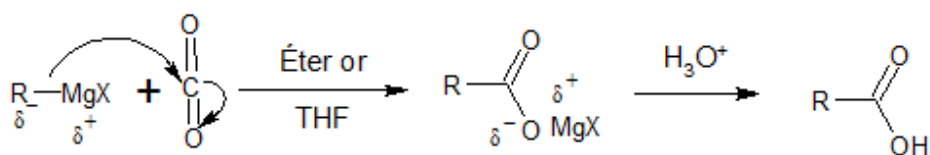


Figura 10. Síntesis de ácidos carboxílicos por carboxilación de reactivos de Grignard.

## 1.8 Fundamentos en mecanismos de reacción

La importancia de interpretar, argumentar y proponer un mecanismo de reacción surge como una necesidad de comprender y entender las reacciones químicas y constituye en la química orgánica una herramienta necesaria para su estudio. El mecanismo de reacción se entiende como la serie de fases que explican o predicen los productos de una reacción química. Para comprender los mecanismos de reacción es necesario comprender algunas nociones básicas como lo son: La ruptura y formación del enlace, clases de reactivos, efecto inductivo, efecto mesómero, impedimento estérico y clases de reacción.

### 1.8.1 Ruptura y formación de enlaces

La gran inmensa mayoría de enlaces en química orgánica presentan características covalentes, por lo tanto la forma en que se puede romper el enlace entre dos átomos que presenten estas características se pueden resumir en la Figura 11.

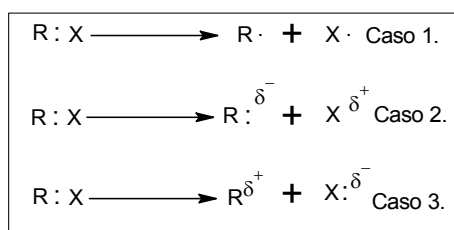


Figura 11. Tipos de ruptura de un enlace covalente

En el caso 1 de la Figura 11, se observa que cada átomo conserva el electrón que se encontraban compartiendo, en este caso las especies formadas se denominan radicales libres, su reactividad es altísima ya que cada átomo presenta un electrón desapareado, estas reacciones ocurren generalmente en fase gaseosa o cuando el medio de reacción

son disolventes no polares, los cuales son catalizados por luz o por la adición de otros radicales libres.<sup>4</sup> Este tipo de rompimiento es llamado ruptura homolítico.

El caso número dos, expone que el par de electrones que se encontraban compartiendo es conservado por uno de los dos átomos, formando una especie o ión positivo y otra de especie o ion negativa, ahora sin importar cual especie retiene el par electrónico siempre el resultado será la formación de los dos iones como ocurre en el caso tres. Este tipo de rompimiento es llamado ruptura heterolítica. Cuando las reacciones involucran especies iónicas requiere o se facilitan en disolventes polares para favorecer la separación de los iones, las cargas que se forman pueden estar sobre los carbonos o sobre otros elementos diferentes, ejemplos halógenos, oxígeno, nitrógeno entre otros. Cuando un átomo de carbono es el portador de la carga positiva recibe el nombre de carbocatión y si es portador de la carga negativa es llamado carboanión.

### 1.8.2 Clases de reactivos

Teniendo en cuenta que los enlaces de los átomo se puede romper de forma heterolítica, esto tendría como consecuencia que los átomos podrían presentar una abundancia o deficiencia de electrones, lo que podría entenderse como la formación de grupos dadores y aceptores de electrones. Una especie química que presentara una densidad electrónica alta presentaría mayor facilidad de reaccionar con aquellos iones cargados positivamente, es decir con aquellos que presentan deficiencia en electrones, estos reactivos o especies reciben el nombre de reactivos electrofílicos. Algunos ejemplos de ellos son:  $\text{H}_3\text{O}^+$ ,  $\text{NO}_2^+$ ,  $\text{NO}^+$ ,  $\text{R}_3\text{C}^+$ ,  $\text{R}_2\text{C}^+=\text{O}$ , y el  $\text{FeCl}_3$  entre otros.

En el caso en que una molécula presenta una deficiencia de electrones será atacada por especies que presenten abundancia o alta densidad electrónica (iones negativos), estas especies reciben el nombre de reactivos nucleófilos. Algunos ejemplos de nucleófilos son:  $\text{H}^-$ ,  $\text{NH}^-$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{RO}^-$ ,  $\text{RS}^-$ ,  $\text{X}^-$ ,  $\text{RCC}^-$  y  $\text{R}^-$  cuando  $\text{RLi}$  o  $\text{RMgBr}$  entre otros.

En conclusión los electrófilos y los nucleófilos en las reacciones orgánicas se pueden llegar considerar como aceptores y dadores de electrones respectivamente.<sup>5</sup>

### 1.8.3 Efecto inductivo, mesómero y estérico

Como se puede observar en la figura 11 cualquier factor que afecte la forma en que se encuentren disponibles los electrones, será de suma importancia en la reactividad frente a una clase de reactivos en particular, es decir que para el caso dos,  $\text{R}^{\delta-}$ , será atacado por electrófilos y en el caso tres de la misma figura, donde la ruptura heterolítica produce  $\text{R}^{\delta+}$ , será atacado por nucleófilos. Esto indica que si una molécula presentara una región

---

<sup>4</sup> SYKES. Peter. 1986. A guidebook to mechanism in organic chemistry. London. Longman. Sixth edition.

<sup>5</sup> ibid., p.12

positiva y otra negativa un nucleófilo seleccionara la zona con menor densidad electrónica y un electrófilo seleccionara la zona con mayor densidad electrónica.

Se debe considerar que en el enlace covalente, la distribución del par electrónico no es simétrico ni tampoco igual, tienden a estar más atraído por un átomo más que por el otro. Esto depende en parte por la diferencia de electronegatividad que presenten los átomos, es decir que el par de electrones estará más atraído por el átomo que presente mayor electronegatividad en el enlace covalente, ejemplo observe la Figura 12.

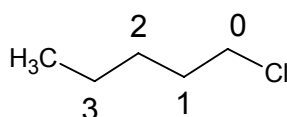


Figura 12. Efecto inductivo.

En la Figura 12 se puede apreciar que el enlace formado entre el cloro y el carbono 0 se encuentra parcialmente polarizado, ya que en este enlace en particular la distribución del par electrónico es igual, ya que el cloro presenta mayor electronegatividad que el carbono, produciendo una deficiencia electrónica sobre este carbono. Este carbono trata de suplir esta deficiencia atrayendo hacia sí los electrones del carbón 1 y así a lo largo de la cadena, teniendo en cuenta que el efecto es menor a lo largo de la cadena. Esta atracción que ejercen los átomos de carbono para suplir la deficiencia de electrones se conoce como efecto inductivo. Los efectos inductivo y mesómero tienen una gran importancia para comprender como se producen las reacciones orgánicas, ya que permiten saber las zonas en que las moléculas tienen mayor o menor densidad de carga. Estas zonas serán las atacadas por los reactivos nucleófilos o electrófilos.

El efecto mesómero se produce en moléculas que presenta enlaces pi ( $\pi$ ) que pueden llegar a conjugarse, es decir, es el desplazamiento del par de electrones ( $\pi$ ) de un sistema insaturado (doble o triple enlace) hacia uno de los átomos, por la presencia de pares electrónicos cercanos (dobles o triples enlaces). Este efecto también es llamado conjugativo. En la figura 13 se presentan algunos ejemplos del efecto mesómero.

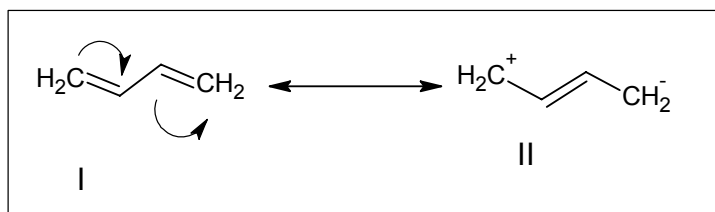
Para el caso 1, La molécula de 1, 3-butadieno se puede representar con la estructura de Lewis I, que contiene dos enlaces dobles C-C conjugados (separados por un enlace simple C-C). El efecto mesómero o conjugativo permite describir la estructura del butadieno con una estructura de Lewis que contiene un enlace doble y dos cargas de signo opuesto en los extremos de la molécula (II), como se puede observar en la figura 13.

En el caso 2, la molécula but-2-enal presenta el mismo efecto que la molécula de 1,3-butanodieno solo que en esta caso el grupo C=O esta conjugado con un C=C.

El efecto mesómero o conjugativo se diferencia del efecto inductivo en que hay un paso de electrones ( $\pi$ ) de un átomo a otro, que se indica mediante flechas curvas. El efecto

mesómero o conjugativo puede ser positivo si es electrón-dador, o negativo si es electrón-atrayente.<sup>6</sup>

Caso 1.



Caso 2.

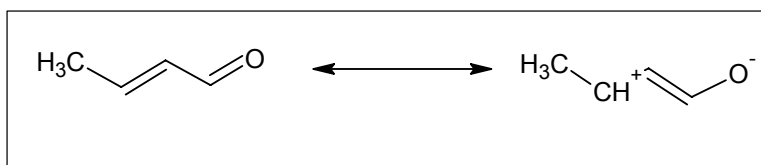


Figura 13. Efecto mesómero o conjugativo.

Se ha mostrado que la reactividad de una determinada molécula está influenciada por la disponibilidad de los electrones, sin embargo estos factores pueden ser modificados e inclusive nulos por la intervención de un efecto estérico.

El efecto estérico está relacionado con el volumen de un sustituyente. Cuando un sustituyente produce interacciones espaciales entre sus átomos y otros átomos o grupos de átomos nos encontramos frente a un efecto estérico de dicho sustituyente, esto no se debe a la disponibilidad de los electrones, ni a la zona de reactividad de la molécula sino exclusivamente al tamaño de los sustituyentes.

#### 1.8.4 Clases de reacción

Los compuestos orgánicos pueden experimentar fundamental tres tipos de reacción:

a) Sustitución: Ocurre cuando sobre en un carbono que sobrelleva el desplazamiento, ocurre la sustitución de un sustituyente por otro. La sustitución puede nucleofílica, cuando esto ocurre el sustituyente que se cambia generalmente es un átomo diferente al hidrógeno, aunque en algunas ocasiones la sustitución del hidrógeno se lleva a cabo por radicales libres. La sustitución también puede ser electrofílica, generalmente cuando se sustituye el hidrógeno del carbono que soporta el desplazamiento.

<sup>6</sup> ibid., p.12

b) Adiciones: Son reacciones en las que enlaces múltiples se transforman en enlaces sencillos, como por ejemplo enlaces carbono-carbono dobles o triples, grupos carbonilos o grupos nitrilo. Al igual que las reacciones de sustitución pueden ser nucleofílicas, electrofílicas o por radicales libres de acuerdo al reactivo que se utilice y a las condiciones de reacción.

c) Eliminaciones: Son el caso inverso de las adiciones, es decir es cuando se forman compuestos insaturados o grupos carbonilos y nitrilos.

## CAPITULO II

### 2. Profundización histórico-epistemológica

#### 2.1 Clasificación de las sustancias

Los cambios químicos siempre han estado a la vista de los científicos. En la antigüedad el estudio de las transformaciones químicas se han asimilado desde una dualidad explicativa. Sin duda alguna la actividad de estudiar fenómenos y transformaciones se realizó como una ciencia normal acumulativa, en la cual solo se transcribían regularidades de prácticas y hechos observables que la naturaleza repetía. Es así como en un inicio las sustancias químicas presentaron una división: las combustibles y las no combustibles.

En esta primera dualidad las sustancias que no ardían como el agua, rocas y metales, entre otras, fueron llamadas no combustibles, mientras que la madera, el aceite y la grasa ardían por lo que fueron llamadas combustibles.<sup>7</sup> Era así como se catalogaban las sustancias en combustibles y no combustibles, y no fue por pura casualidad que la mayoría de sustancias de origen vegetal o animal quedaron catalogadas en el grupo de combustibles mientras que las de origen mineral quedaron catalogadas en el grupo de los no combustibles. A pesar de que algunos científicos empezaron a presentar cierto inconformismo y poca aceptación de esta división simplista de las sustancias, la asimilación de este hecho exigía obviamente un ajuste entre la teoría y los nuevos hechos científicos sobre la combustión.

Este quizás es uno de los ejemplos más concretos en el que las novedades fácticas están estrechamente relacionadas con las teorías y posteriormente con los descubrimientos científicos. Dado que los científicos caminaron a través de los hechos fácticos dividiendo las sustancias entre las combustibles y las no combustibles, esto no solo conllevó a un reduccionismo de clasificación de las sustancias sino al concepto y estudio de la combustión y descubrimiento y función del oxígeno.

El primero en recoger una muestra de oxígeno puro fue el químico farmacéutico C.W. Sheele, sin embargo la autoría de dicho descubrimiento la comparte con Joseph Priestley quien también recogió dicho gas liberado de varias sustancias sólidas.<sup>8</sup> Hasta el momento se hace evidente que los acontecimientos científicos que llevaron al descubrimiento del oxígeno están ligados al hecho de la clasificación de las sustancias a partir de su combustibilidad; es posible que ninguno de los científicos estuviera en este programa de clasificación de las sustancias.

Con el descubrimiento del oxígeno aparece una nueva confrontación de conceptos, un distinto vocabulario para analizar nuevos sucesos, una nueva asimilación conceptual a un nuevo paradigma que le dio una nueva respuesta general al hecho de la combustibilidad

---

<sup>7</sup> PORTELA, M. 1999. La química ilustrada. Madrid. Editorial AKAL.

<sup>8</sup> GRIBBIN, Jhon. 2006. Historia de la ciencia. Barcelona. Editorial Crítica, S.L.



de las sustancias vivas o no vivas. El creciente conocimiento de las sustancias y el hecho no casual de que la combustibilidad no era lo que distanciaba a las sustancias vivas de las no vivas, ya que las sustancias no vivas soportaban procedimientos altamente energéticos, mientras que la materia viva o que provenía de ella no soportaba este tipo de procesos. Esto incluía el hecho de que las sustancias no vivas se regeneraban en ellas mismas frente a los cambios de calor (algunas sales se re-solidificaban, el agua se condensaba obteniéndose nuevamente el líquido); sin embargo las sustancias vivas no presentaban las mismas características a las originales, cambiaban a nuevas sustancias.

Con el estudio de la combustibilidad nace la química neumática y la interpretación y uso de las relaciones de peso. En el desarrollo científico es un motor o ingrediente del desarrollo técnico, que a su vez, favorece la aparición de numerosos artefactos para el estudio de los gases, obteniéndose así, estudios más detallados en los que se infería que el aire debía contener un aditivo o ingrediente en las reacciones químicas. Los químicos suponían que el aire era el único tipo de gas, hasta 1756, cuando Joseph Black demostró que el aire “fijo” ( $\text{CO}_2$ ) se distinguía claramente del aire normal.<sup>9</sup>

Esto llevó a un estudio para distinguir una muestra de gas de otra, así muchos científicos llegaron a proponer la teoría del flogisto. Entre ellos Ernest Stahl el cual creía en la teoría del flogisto y la empleaba repetidamente en el diseño y la interpretación de sus experimentos. Sin embargo, la teoría del flogisto resultó poco eficiente a la hora de hacer frente a la experiencia de laboratorio, demostrando que la crisis de la teoría era sin duda inevitable y fue el mismo Lavoisier quien al final derrotó completamente esta teoría.<sup>10</sup>

En un comienzo la teoría no fue cambiada ya que en medio de su crisis aún permitía la explicación de algunos fenómenos y era adecuada para precisar algunas relaciones del aumento de peso. Algunas de estas consideraciones se debían a la poca exactitud y técnicas de las balanzas utilizadas, lo que permitió adecuarse de muchas formas diferentes, a pesar de que ya se tenía conocimiento sobre la teoría gravitacional de Newton. Esto direccionó a que los químicos insistieran en que el aumento de peso se debía a un incremento en la cantidad de materia.<sup>11</sup>

Hasta este momento, se puede decir que la acumulación de estudios y hechos científicos fue notablemente direccionada por una clasificación de las sustancias de acuerdo a su combustibilidad. Con el estudio de la combustibilidad se dio origen a una serie de acumulación de hechos fácticos que posteriormente se pudieron catalogar como hechos científicos, lo que conllevó a una nueva conceptualización más profunda y más aceptada por los científicos. Así mismo, un solo hecho científico se enlazó estrechamente con otros hechos como el estudio de la neumática, la combustión y estudio de las reacciones. Estos aspectos conducen a nuevas teorías y modelos que poco a poco llevaron a plantear nuevos modelos de explicación de los fenómenos.

---

<sup>9</sup> PORTELA, La química ilustrada, op. cit., p.16.

<sup>10</sup> PAPP, Desiderio. 1996. Historia de las ciencias. Santiago de Chile. Editorial Andrés Bello.

<sup>11</sup> KUHN, T. 1986. *La estructuras de las revoluciones científicas*. Chicago: Fondo de cultura económica.

### 2.1.1 La teoría vitalista

A finales del siglo XIX y comienzo del siglo XX se consideraba que los compuestos orgánicos solo podían ser sintetizados por los seres vivos (de ahí su nombre orgánicos). Las sustancias orgánicas provenían de los seres vivos y por tanto no existía otra fuente de origen. Algunos ejemplos de compuestos orgánicos como el etanol y el ácido acético se obtenían por fermentación de los jugos de frutas o de granos, o la quinina la cual se había aislado del árbol de quina y la urea que se aisló de la orina de los mamíferos. Por otro lado, las sustancias minerales como los metales, el agua o las sales presentaban características que no provenían de los seres vivos, de este modo fueron llamadas inorgánicas.

Las diferencias entre las sustancias orgánicas y las inorgánicas parecían bastante fundamentales y, en 1807, Jacobo Berzelius sugirió que aquellas sustancias que provenían de fuentes vivas se llamasen *orgánicas*. Lo que más admiró a los químicos era que esta nueva clasificación estaba estrechamente relacionada con la combustibilidad de las sustancias ya que en medios enérgicos como calentamientos cumplían las mismas características de las sustancias combustibles y no combustibles anteriormente discutidas, ya que una sustancia orgánica se convertía por calentamiento en una inorgánica, sin embargo, no ocurría lo contrario. Estos nuevos hechos fácticos se corroboraron en el laboratorio. En un comienzo fue inútil obtener una sustancia orgánica a partir de compuestos o elementos inorgánicos, la nueva visión se presentaba como un hecho científico con antecedentes bastante antiguos, sin embargo, se abrió una puerta a nuevos conjuntos teóricos y prácticos: la síntesis orgánica.

Berzelius entre 1807 y 1809 llamó a esta idea la teoría vitalista, la cual indicaba que solo los seres vivos podían producir compuestos orgánicos ya que poseen la llamada “fuerza vital”. De esta manera, se concluía que en laboratorio no se podía sintetizar un compuesto orgánico.<sup>12</sup> Algunos científicos exponían en sus argumentos que los seres vivos no seguían y no era posible aplicarles las leyes del universo tal y como si se aplicaban a otros cuerpos y a las sustancias. Esta posición fue también expuesta y sugerida por Stahl, el inventor del flogisto. Así para Berzelius y los seguidores del vitalismo era completamente claro suponer la influencia de la “fuerza vital” la cual actuaba únicamente en los seres vivos para convertir materia inorgánica en compuestos orgánicos. Para estos seguidores del vitalismo sin la “fuerza vital” era imposible que cualquier técnica de laboratorio pudiera realizar la conversión.

La mayoría de estos descubrimientos fueron tanto inconvenientes y poco formativos como fructuosos y prósperos para la química, ya que en su mayoría habían sido asimilados por los científicos, pues de esta manera se encontraban en capacidad de razonar sobre los nuevos hechos y los fenómenos naturales. No obstante, una vez asimilada una nueva teoría o descubrimiento se pone a prueba con los nuevos descubrimientos. A pesar de que la mayoría de científicos adoptó el vitalismo, algunos empezaron a mejorar las técnicas de laboratorio buscando dar explicaciones más científicas, y algunos químicos

---

<sup>12</sup> LAFUENTE, Santiago, BURGUETE, María, ALTAVA, Belén. 1997. Introducción a la química orgánica. Castelló. Editorial Universita, D.L.

llamaron como destructivo este nuevo modelo científico del vitalismo, y así, se dieron a la tarea de buscar anomalías en la nueva teoría.<sup>13</sup>

Para algunos científicos no se concebía el vitalismo como un hecho científico ya que carecía de la experiencia contradictoria. Por tratarse de un hecho sin experiencia contrastable basada en una serie de hechos acumulativos no existía la posibilidad de ser verificada desde la experiencia y tener como mínimo una contrastación, asimilación de los resultados de la contrastación y entendimiento de la teoría. Esto involucraba que esa contrastación debía ser reconocida por un científico que basado en hechos experimentales pudiera dar por completa y cierta la teoría del vitalismo. Como se dijo anteriormente la llave que abrió la confrontación a la teoría del vitalismo fue la síntesis orgánica, esto implicó un avance hacia la química moderna como no otra causa, ya que fue gracias a la síntesis orgánica que se pudieron demostrar las anomalías del modelo vital. A pesar de que se pudo hablar de ciencia sin experiencia, fue la misma experiencia la que permitió la crisis y las anomalías de la nueva teoría.<sup>14</sup>

En 1825, Friedrich Wöhler y Justus von Liebig dos químicos poco convencidos sobre el vitalismo descubren y explican en sus estudios la teoría oficial de los isómeros, llamados así previamente por Berzelius (compuestos con la misma fórmula condensada pero diferente fórmula estructural). Al realizar estudios con los ácidos cianhídrico y fulmínico, ambos comprueban de manera eficiente que la isomería es causada por diferentes arreglos de átomos dentro de una estructura molecular.<sup>15</sup> El debate sobre la teoría vitalista llegaría a su cumbre cuando Friedrich Wöhler, que había sido estudiante y discípulo de Berzelius descubrió en 1828 cómo se podía sintetizar la urea a partir de cianato de amonio (una sustancia que para esta época se consideraba completamente inorgánica). A medida que avanzaba el procedimiento experimental se percató de la formación de cristales similares a los de la urea, la cual era una sustancia desecho de la orina de los mamíferos incluyendo al hombre, con lo cual el principio del vitalismo que indicaba que a partir de compuestos inorgánicos no se podían obtener compuestos orgánicos se había caído (ver Figura 14).

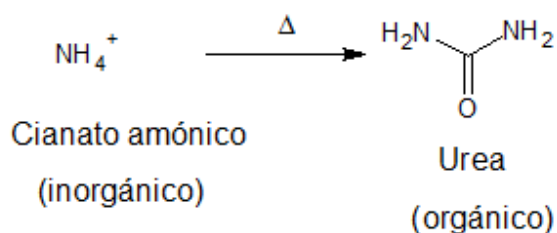


Figura 14. Síntesis de la urea llevada a cabo por Wöhler.

El descubrimiento no fue tan “accidental” como algunos textos lo publican, lo cierto es que Wöhler estaba trabajando en compuestos y sustancias que pudieran presentar isomería. De hecho el experimento fue completamente *ad hoc* a compuestos que pudieran

<sup>13</sup> KUHN, La estructura de las revoluciones científicas, op. cit., p.17.

<sup>14</sup> FEYERABEN, Paul. 1989. Contra el método. Barcelona. Editorial. Ariel, S.A.

<sup>15</sup> ALDEBE, S; ARAMENDÍA, P; LACREU, L. (1999). *Química 1 fundamentos*. Buenos Aires, Ediciones COLIHUE, S.R.L.

presentar isómeros, pero estos procedimientos experimentales conllevaron a un hecho de mayor relevancia, la acumulación de hechos fácticos que demostraban que el vitalismo presentaba un estatus de hecho científico que era erróneo (por más de cincuenta años); no obstante esta interpretación natural de las sustancias por el vitalismo era completamente "*a priori*", por ello fue sometida por muchos químicos a discusiones críticas por la forma en que interpretaba a la naturaleza. Al igual que el flogisto el vitalismo había logrado un estatus de hecho científico, ya que en ambos casos se habían logrado conservar como teorías aunque, posteriormente, juntas fueran reemplazadas por no interpretar ni predecir hechos científicos que arrojaban las síntesis orgánicas.

Aunque la síntesis de la urea no tuvo una alta relevancia, ya que para la época clasificar una sustancia en orgánica o inorgánica demandaba estudios largos y complicados, así como presentar un modelo de la molécula ya era un serio trabajo, se tenían dudas sobre si el cianato amónico era inorgánico. La anomalía que empezaba a presentar el vitalismo era cada vez más notable, ya que la duda generada por Wöhler incentivó un nuevo programa científico: la síntesis orgánica, para buscar sustancias orgánicas que fueran obtenidas a partir de sustancias inorgánicas. Esto predeterminó a la mayoría de científicos a direccionar sus estudios en esta disciplina de la química; no solo se presentó una nueva apreciación de la naturaleza ya que el vitalismo se debilitó, sino que muchos otros científicos mejoraron las técnicas de análisis y los métodos experimentales, así mismo, se engendraba una nueva fuente de predecir las reacciones orgánicas: los mecanismos de reacción.

En términos de Kuhn, las anomalías tienen como función la aparición y formación de nuevos contenidos teóricos y de nuevos tipos de fenómenos, solo de esta forma estas anomalías son requisitos previos para cualquier cambio conceptual de la teoría. Sin duda alguna este era el alcance que tenía el descubrimiento de Wöhler, quien había puesto al desnudo las anomalías del vitalismo; así mismo este estado de crisis era apropiado para que nuevos modelos se implantaran. No pasó mucho tiempo para obtener otros compuestos considerados orgánicos mediante la síntesis química a partir de compuestos inorgánicos. Uno de los pioneros fue un profesor alemán, Friedrich Runge, que en 1834 logró sintetizar la anilina, un colorante bastante conocido y obtenido a partir del alquitrán de hulla. Pero Runge no solo logró sintetizar esta sustancia sino muchas más que en su momento no logró caracterizar químicamente.

## **2.2 Las primeras síntesis**

Posteriormente, en 1845, Adolph Wilhelm Hermann Kolbe, quien también trabajaba en síntesis orgánica, no lograba concebir la independencia de los compuestos orgánicos de los inorgánicos, de alguna manera unos se podían derivar de los otros directamente o indirectamente, por procesos de sustitución. W. Kolbe logró comprobar su teoría al aislar el ácido acético a partir de disulfuro de carbono mediante varios pasos. El ácido acético era catalogado como una sustancia completamente orgánica y W. Kolbe había logrado obtenerlo a partir de productos inorgánicos, y para que no quedara duda logró una segunda síntesis del ácido acético a partir de sus constituyentes primarios: carbono,

oxígeno e hidrógeno, en lo que se conoció como la síntesis total.<sup>16</sup> Frente a este nuevo hecho científico no cabía duda de la crisis del vitalismo y el surgimiento de una nueva asimilación conceptual y científica que fue catalogada como la química moderna. El nuevo orden en sus inicios definiría a los compuestos orgánicos como aquellos que estaban formados de carbono.

W. Kolbe realizó más contribuciones junto con Edward Frankland encontró que era posible la síntesis de nitrilos y que su hidrólisis producía los ácidos correspondientes, pronosticó la existencia de alcoholes secundarios y terciarios, sintetizó parafinas a partir de la electrolisis de las sales ácidos grasos y obtuvo el ácido salicílico en un proceso que recibió el nombre de la reacción de Kolbe-Schmitt. La estocada final al vitalismo la colocó el químico francés Pierre Eugène Marcelin Berthelot, quien durante la década de 1850 efectuó la síntesis de grasas a partir de glicerina y ácidos grasos, la síntesis del metano a partir de compuestos totalmente inorgánicos como el ácido sulfhídrico y el sulfuro de carbono, así mismo, la obtención del acetileno a partir de sus elementos en una nueva síntesis total y la obtención del benceno a partir del acetileno.

Con estos nuevos hechos se tenían suficientes hechos científicos, que demostraban las anomalías y crisis del vitalismo, igualmente, la deficiencia de esta teoría por mantenerse vigente proporcionó el ambiente necesario para iniciar una nueva actividad científica normal y así una transición conceptual hacia la síntesis orgánica. Este nuevo paradigma de la ciencia no surge como un hecho científico aislado, sino por el contrario como una respuesta a la crisis y a las anomalías. Con esta nueva forma de ver la naturaleza también se hace necesario un nuevo vocabulario, una nueva conceptualización y teorías que empiecen a modificar las anteriores.<sup>17</sup> Sin embargo, más allá de lograr una nueva teoría o ley científica aún quedaban algunos aspectos por entender, algunos de estos aspectos aún se encontraban en la transición de las investigaciones y de encontrar técnicas y argumentos más precisos, las primeras explicaciones de que ocurrían en los procesos químicos empezaban a hacer su aparición en el contexto científico, las primeras explicaciones a los mecanismos de reacción y las primeras combinaciones organometálicas hicieron su aparición a partir de la teoría de los radicales y la de la sustitución.

### **2.3 Surgen los mecanismos de reacción: Teoría de los radicales y de sustitución**

Los químicos orgánicos en sus comienzos trabajaban no solo trazando sus programas científicos en la producción de nuevos compuestos o en la simplicidad de demostrar las dificultades de la teoría vitalista, sino que empezaron a realizar una de las disertaciones conceptuales que hasta la actualidad sigue teniendo un alto grado de complejidad en la síntesis orgánica e inorgánica ¿Qué ocurre o cuáles son los procesos intermedios en una síntesis química?, o en otras palabras ¿Cuáles son los pasos o mecanismos por los que un compuesto se convierte en otro?. En 1832, Liebig y Wöhler se encontraban realizando una serie de investigaciones detalladas con ácido benzoico. En sus discusiones determinaron por primera vez la presencia de una especie radical del ácido benzoico al

---

<sup>16</sup> ASIMOV, Isaac. 1973. Introducción a la ciencia. Buenos Aires. Editorial Plaza y Janes.

<sup>17</sup> KUHN, La estructura de las revoluciones científicas, op. cit., p.17.

que nombraron como radical benzoilo. Con este nuevo hecho solo fue cuestión de tiempo para que otros químicos encontraran otros radicales como el etilo (por Liebig), el grupo ciano, amida, los radicales del amoniaco, las grasas, los alcoholes entre otros. Sin embargo, la teoría de los radicales empezó a sufrir algunas complicaciones. Uno de los problemas que presentó fue el vocabulario empleado por Wohler y Liebig en sus artículos, ya que consideraban los radicales como “los elementos” de la química orgánica, lo que provocó en los puristas un rechazo, ya que los elementos se consideraban inalterables.<sup>18</sup>

Pero el mayor de los problemas se fundamentó cuando se trató de adaptar una concepción de Berzelius de dualidad electropositiva y electronegativa en las combinaciones por radicales, y explicando mediante analogías, que los radicales del benzoilo funcionaban igual que el sodio y el cloro en las sales inorgánicas, con la excepción de que el carbono presentaba una carga negativa y el hidrógeno una carga positiva y que por ningún motivo el radical benzoilo podía contener oxígeno en su estructura básica. La crisis de la teoría de los radicales se incrementó cuando por medios experimentales no se pudo demostrar la dualidad eléctrica de las moléculas, ya que era completamente contradictorio, además, los compuestos de carbono no presentan características similares a los compuestos inorgánicos en cuanto a su carácter ácido-base.

No obstante, estas anomalías descartaron una serie de afirmaciones y de procedimientos experimentales que estaban empezando a ser aceptados como descubrimientos y hechos científicos, y que fueron completamente refutados por nuevas teorías y hechos científicos que sucederían a la teoría de los radicales, por ejemplo, la misma afirmación de Berzelius de que en un compuesto no era posible sustituir un elemento negativo por otro positivo sin alterar las propiedades del compuesto.

Con los procedimientos experimentales desplegándose en busca de una nueva concepción, los químicos se prepararon a una nueva mentalidad científica, para no solo reconocer las dificultades y la crisis de la teoría de los radicales, sino para enfocar los trabajos de investigación científica en un nuevo punto de partida: que observando en detalle la teoría de los radicales esta había dejado dos importantes hallazgos, *“la existencia en las moléculas de grupos de átomos o radicales con cierta inercia a la reacción y el reconocimiento de que las principales transformaciones se producen en puntos activos de la molécula, de una forma similar a las de las sustancias inorgánicas”*.<sup>19</sup>

A pesar de que Berzelius tenía razón en la dualidad eléctrica de las sales inorgánicas, tenía una inconsistencia en la afirmación de que un elemento negativo no podría ser sustituido por otro positivo. Dumas y Auguste Laurent, en 1834, lograron realizar la sustitución de cloro por átomos de hidrógeno en el etanol, sin embargo, no fue el único caso que reportó Dumas, quien además había publicado la sustitución de hidrógeno por cloro en otros hidrocarburos, mientras Laurent logró la sustitución de los hidrógenos del benceno por cloro, bromo y nitros. Esto permitió que se abriera la posibilidad de presentar una nueva teoría la cual la llamarían teoría unitaria o de sustitución.

Otra teoría que orientó el estudio de los mecanismos de reacción fue la teoría de los tipos que afirmaba que las reacciones orgánicas se llevaban a cabo en una parte central del

---

<sup>18</sup> KLAGES, F. 1969. Tratado de la química orgánica. Berlín. Editorial Reverté, S.A.

<sup>19</sup> Tomado de: <http://www.fq.uh.cu/hq/s19/s19qa.htm>

compuesto al que le llamaban núcleo. Laurent, Wurtz y Hoffman sus principales defensores sostenían, por ejemplo, que en la molécula de agua uno de sus hidrógenos podría ser sustituible, por un metilo o un etilo para formar alcoholes. Wurtz que trabajó con los nuevos compuestos llamados éteres que se utilizaban como anestésicos afirmó que el núcleo era el oxígeno del agua al que se le habían sustituido sus dos hidrógenos por radicales etilo o metilo. De la misma forma, se creía que un compuesto orgánico podía agruparse en familias y que los núcleos normalmente eran compuestos inorgánicos como el oxígeno, el nitrógeno o el azufre. Procedimientos experimentales demostraban que sus propiedades eran similares y el radical permanecía.<sup>20</sup>

En 1848, el químico francés Charles Adolphe Wurtz publicó que la teoría de los tipos se aplicaba para compuestos relacionados con el amoníaco y que posteriormente se llamarían aminas, de esta manera la crisis generada por la antigua teoría de los radicales y la dualidad eléctrica de Berzelius empezaba a quedar atrás, ya que la teoría de los tipos empezó a ganar adeptos. El químico Friedrich Konrad Beilstein publicó en 1880 un trabajo donde utilizó la teoría de los tipos para clasificar los compuestos químicos.<sup>21</sup> Aunque presentaba hechos científicos relevantes en la construcción de mecanismos de reacción que explicaban la diversidad de reacciones y de obtenciones, además de dar luces sobre la estructura química de los compuestos, esta teoría empezó a debilitarse porque se utilizaban relaciones de núcleos mixtos que la hicieron compleja y confusa. Sin embargo, empezó un nuevo programa científico con los hechos ya obtenidos, aunque sistemáticamente cada una de las teorías presentaba anomalías era claro que en conjunto cada una de ellas había asimilado descubrimientos y hechos fácticos de relevancia, pues la mayoría de los químicos que había adoptado una nueva teoría no la abandonaba por completo sino que la iba transformando en una acumulación de trabajo y hechos científicos, esto también le permitía concebir nuevas teorías y remplazar aquellas que habían presentado crisis o anomalías.<sup>22</sup>

Un nuevo concepto se empezó a trabajar después de la teoría de los radicales y la sustitución: el de la *determinación de la constitución*. En esencia proponía deducir la estructura de los productos sintetizados mediante la relación de los compuestos combinados, esta deducción se hacía sin mirar las partes por separado o mediante instrumentos, y sin el conocimiento exacto de la existencia de alguno de los componentes. La deducción de la estructura de la molécula también se basaba en establecer conclusiones acerca de su real comportamiento, mediante la observación del comportamiento químico de las sustancias. Uno de sus principios era observar una muestra de manera deductiva, para esclarecer el comportamiento (propiedades fisicoquímicas) de una gota de ella. Lo sorprendente de este método era que se llegaban a estructuras muy exactas, pero en la época no se recibió de manera positiva. Era claro que para aquellos químicos llegar a una estructura general y exacta a partir de las propiedades del compuesto, sin un estudio riguroso y sin una experiencia experimental que permitiera dar mayor exactitud realmente no brindaba ningún tipo de confianza. Con el transcurrir del tiempo las dudas que ofrecía este método se empezaron a aclarar y se superarían, ya que los métodos analíticos habían avanzado y permitían realizar cálculos muy cercanos de las proporciones atómicas y de las formulas empíricas, inclusive ya

---

<sup>20</sup> BROCK, William. 1998. Historia de la química. Madrid. Alianza editorial.

<sup>21</sup> ASIMOV, Isaac. 1996. Breve historia de la química. Madrid. Alianza editorial.

<sup>22</sup> KUHN, La estructura de las revoluciones científicas, op. cit., p.17.

existían antecedentes para aclarar síntesis orgánicas a partir de este método. Algunas que utilizaron este método fueron la química de nitrilos hecha por Kolbe, la síntesis de éteres de Williamson, y la aclaración de la estructura del naftaleno y el antraceno (Brock, 1998).

Este nuevo método de llegar a una concepción o hecho científico sin mediar con unas reglas o estándares procedimentales o de racionalidad, es uno de los campos en que la química más ha incurrido para llegar a sus teorías finales o transitorias (por ejemplo, los modelos atómicos o estructuras moleculares inorgánicas). Esta forma anárquica de ver los descubrimientos y el avance de la ciencia no obedece a ninguna universalidad o racionalidad científica, los hechos científicos y el conocimiento acumulado no siguen un camino en particular, el método de *la determinación de la constitución* se ha derivado de una anomalía creciendo con la crítica y tolerancia de los químicos que buscaban respuestas a sus trabajos, y en la síntesis orgánica existe el problema del método científico como una forma de preferir una teoría por encima de otra sin ninguna tolerancia en las inconsistencias o anomalías, en esta caso, la libertad científica fue más productiva y creativa.<sup>23</sup>

### 2.3.1 Teoría electrónica de las reacciones orgánicas

Otras significativas bases en el estudio de las reacciones orgánicas y sus mecanismos fueron sentadas desde comienzos del siglo XX. Uno de sus principales gestores fue Christopher Ingold quien con su artículo<sup>24</sup> en el cual se sustentaba ya en estudios sobre una teoría atómica que presentaba al átomo electrónico. Para Ingold los electrones de una determinada molécula podían desplazarse durante una reacción y esto hizo que los fisicoquímicos de la época empezaran a realizar estudios en torno a los desplazamientos electrónicos de las moléculas. Igualmente, para estos científicos la palabra mecanismo y estructura debían ser entendidas desde la física debido al origen de las causas de los movimientos y los efectos encontrados hasta entonces en los diferentes tipos de reacción como las adiciones, eliminaciones y los reordenamientos (Asimov, 1996). El segundo gran aporte de Ingold fue la publicación de su texto (el cual lo trabajó con Pauling) llamado *Structure and Mechanism in Organic Chemistry* (1953).

Esta teoría electrónica de las reacciones orgánicas mostró un avance altamente significativo en la utilización de un nuevo lenguaje universal y técnico, no solo para la explicación sino para la representación de las reacciones, ya que contemplaba el uso de un lenguaje que hoy en día se sigue utilizando. La incorporación de graficar el par electrónico que se desplaza y representar dicho movimiento de los pares electrónicos con flechas, permitía una mayor aclaración sobre los mecanismos de reacción (Brock, 1998).

Ya antes Henry Armstrong en 1887 había tratado de explicar los mecanismos de reacción de sustitución verificando el mecanismo de Williamson. Este fue el punto de partida para que tres científicos colocaran el estudio de los mecanismos de reacción en términos de

---

<sup>23</sup> FEYERABEND, Contra el método, op. cit., p.19.

<sup>24</sup> INGOLD, Christopher. 1934. Principles of an electronic theory of organic reactions. Chemical reviews. Number 15. p.225-274.



estructuras de moléculas, lo que se conoció como la tradición Lapworth-Thiele-Robinson. Estos científicos basándose en teorías anteriores explicaron los reordenamientos que se podían producir en las reacciones químicas, incluyendo el uso de flechas curvas, guardando un parecido con el desplazamiento de electrones de Ingold. Todos estos desplazamientos ocurrían sobre un mismo átomo, al que posteriormente llamarían “átomo clave”, por su capacidad para moverse a lo largo de la cadena. Otra característica que se encontró en el “átomo clave” era su dualidad eléctrica. Esta última característica fue estudiada en los aldehídos y cetonas demostrando como estos átomos desempeñan un papel crucial en el mecanismo de reacción a lo que Lapworth llamó “polaridades alternativas”. La polaridad alternante permitía realizar varias explicaciones sobre todo en función del “átomo clave” como el reactante en la molécula. En algunos casos, este “átomo” presentaba propiedades inductivas sobre otros átomos que se perdían con facilidad, lo que posteriormente se conocería como el efecto inductivo<sup>25</sup>. La refinación del estudio de los mecanismos de reacción llegaría con la tradición Michael-Flurscheim-Vorlander, los cuales optaron por un estudio termodinámico de las reacciones y por explicaciones polares en las reacciones, además de realizar discusiones sobre la debilidad y fortaleza de los enlaces.

Desde la decadencia del vitalismo con Wöhler hasta Ingold, la química orgánica había pasado por una maraña casi impenetrable, al comienzo más llena de misticismos y sombras que de ciencia, lo que poco a poco se fue direccionando hacia una química más estructural mostrando patrones comunes y singularidades que se repetían reacción tras reacción, los métodos experimentales y sus significativos avances lograron dar un lugar a las reacciones en la química orgánica. Pero fue sin duda, la revolución de Ingold, quien colocando como principios fundamentales la reactividad de la molécula y la estructura molecular en el estudio de las reacciones y de los mecanismos, vitalizó la química orgánica. Así, esta visión física y mecanicista simplificó el camino, aunque obligando a los químicos a estudiar desde la física las reacciones químicas.

## **2.4 Surge la química organometálica: Los reactivos de Grignard**

A pesar de que la química orgánica fue declarada la química del carbono, esto no significó que los elementos inorgánicos no estuvieran presentes en su esencia, pues ya algunos químicos explicaban su relación íntima. Algunos elementos como el sodio, potasio, plomo, hierro y magnesio habían sido objetos de estudio desde una perspectiva farmacéutica. A esta disciplina de relacionar algunos elementos metálicos con compuestos orgánicos se le llamó más adelante química organometálica. Su surgimiento empieza en Francia en 1760, donde Cadet de Gassicourt quien trabajaba experimentalmente en la preparación de tintas, utilizando las sales de cobalto y de arsénico para obtener mejores rendimientos y resultados, lo que le permitió obtener tintes que presentaban características organometálicas.<sup>26</sup> Sin duda alguna el estudio de las estructuras de estos compuestos en sus comienzos resultó complejo, ya que presentaba anomalías en sus explicaciones al enfrentarse además a la división entre los minerales y

---

<sup>25</sup> GORDILLO, Bárbara. 1997. La teoría de la conservación de la simetría orbital. Profesores al día. (8)3. Páginas 118-123.

<sup>26</sup> ASTRUC, Didier. 2003. Organometallic chemistry. Barcelona. Editorial Reverté, S.A.

los compuestos con “esencia viva”, sin olvidar que las explicaciones a sus reacciones y mecanismos resultaban casi imposibles de hacer. Estas circunstancias entre el modelo vitalista y los nuevos compuestos no permitieron un desarrollo rápido de la química de compuestos organometálicos, sin embargo, como se ha visto, la primera característica para una revolución científica empieza en la crisis de las teorías vigentes por explicar nuevos hechos científicos.

Sin duda alguna, los hechos que llevaron a la caída de la teoría vitalista, los estudios sobre mecanismos y las reacciones químicas dieron un gran impulso a la química de compuestos organometálicos, pues allanó el terreno y permitió un desarrollo que hasta la actualidad no se detiene. Los trabajos realizados por la teoría de los radicales y la sustitución, sumados al método de la constitución de la estructura y las tradiciones de Lapworth-Thiele-Robinson que dieron origen a los primeros estudios de los mecanismos de reacción, permitieron que a lo largo de estos hechos científicos tres químicos hicieran grandes aportes a esta nueva rama de la química. El primero de ellos fue William Zeise quien realizó la primera síntesis de orden organometálica, en 1827, al calentar una mezcla de cloruro de platino en etanol y cloruro de potasio, dando como resultado una sal de cristales amarillos que lleva su nombre, “sal de Zeise”. El estudio de su estructura química y el entendimiento de su formación solo se pudo esclarecer hasta 1950, con la ayuda de la difracción de rayos X. Sin embargo, se considera que la mayor contribución de W. Zeise a la química fue el estudio de los complejos dadores  $\pi$  ( $\pi$ ).<sup>27</sup>

A mediados del siglo XX, Edward Frankland logró sintetizar una gran variedad de compuestos organometálicos de zinc. Adicionalmente, Frankland trabajó en la transmetalación entre compuestos alquílicos de mercurio y zinc.

A comienzos del siglo XX, el interés por los compuestos organometálicos de zinc tuvo un gran declive debido a la baja reactividad presentada por estos en muchos de los estudios reportados y al descubrimiento de los compuestos organomagnésicos por parte de Barbier y Víctor Grignard. Grignard y Barbier fueron galardonados con el premio Nobel en 1912 por su desatacado trabajo con los compuestos organomagnésicos, mucho más activos que los de zinc. A este tipo de reacciones que involucran compuestos organometálicos con magnesio se les llamó reacciones de Grignard y a su compuesto, el reactivo de Grignard. La gran contribución de los compuestos de Grignard a la química es su versatilidad como mediadores en procesos de síntesis orgánica y su papel en la obtención de funciones oxigenadas.<sup>28</sup>

El estudio de los compuestos organometálicos y el de la misma ciencia ha mostrado un camino largo, y no puede ser visto simplemente como la acción de una acumulación de hechos teóricos o prácticos o como un acopio de orden histórico- científico. El avance de la química, de sus teorías y leyes está cuestionado por el conocimiento primario de sus antecesores, y cómo este se va reemplazando poco a poco por nuevos conocimientos y hechos científicos, concluyendo que la ciencia no simplemente se acumula sino que presenta un proceso de cambio continuo. Al comienzo, las observaciones sobre los cambios de la naturaleza son explicadas desde sus competencias científicas, la mayoría

---

<sup>27</sup> DOUGLAS, Eugene. 1994. Conceptos y modelos de química inorgánica. Barcelona. Editorial Reverté, S.A.

<sup>28</sup> ASIMOV, Introducción a la ciencia. op. cit., p.21.

de ellas con base en indagaciones primarias, por ejemplo, ¿Cómo clasificar los compuestos químicos?, ¿Cuál es el origen de estos?, ¿Cuáles son sus posibles estructuras? En la medida en que la racionalidad y los modelos permitan a los científicos, se podrán tener las competencias necesarias para dar respuestas a estas y otras preguntas. Estas cuestiones primeras son las generadoras de los cambios conceptuales y posteriormente científicos. En términos de sus respuestas cada una de las indagaciones generan cambios sociales, ya que este campo es completamente inherente a los programas científicos, ninguno de los dos es ajeno, el contexto social influye sobre las respuestas y los cambios que se generan a través de las nuevas teorías, ya que satisfacen necesidades propias de cada momento histórico.

Otro aspecto importante es que el nuevo modelo en desarrollo no necesariamente se impone o niega al anterior. Aunque el modelo de clasificación de los compuestos fuera refutado en algunos momentos por hechos científicos, siempre quedó abierto a nuevas investigaciones, a nuevos procesos de indagación, que no afectaron al nuevo modelo o a la ciencia. Por ejemplo, aunque la teoría de los radicales fue reemplazada por otras nuevas, esta continuó su marcha para ser investigada, adaptada y retomada más adelante para esclarecer la función y mecanismos de los radicales libres y otros mecanismos. Lo que significa que las nuevas teorías pueden remplazar a otras por sus anomalías o crisis, pero estas no desaparecen, por el contrario, siguen su curso por la ciencia para ser retomadas, ampliadas y en muchas ocasiones mejoradas.<sup>29</sup>

La mayoría de nuevas teorías que remplazan a las anteriores se acomodan ya que en ocasiones presentan propuestas innovadoras que no son susceptibles de ser estudiadas porque se requieren nuevas tecnologías aún por desarrollar o porque manejan teorías, leyes o hechos científicos que son contradictorias a las anteriores. Sin embargo, es allí donde se hace necesario que ocurran las revoluciones científicas, las cuales son las que pueden solucionar las crisis y las anomalías que han dejado otros programas científicos, tal como ocurrió con el nacimiento de la química organometálica, y las nuevas teorías sobre los mecanismos de reacción, los cuales se adoptaron como un nuevo modelo científico. Estos nuevos modelos requieren de mayores investigaciones para que sean adoptados y defendidos por los científicos e investigadores. Así, la ciencia crece en su ciclo de progreso.

---

<sup>29</sup> KUHN, La estructura de las revoluciones científicas, op. cit., p.17.

## **CAPÍTULO III**

### **3. Discusión didáctica soportada en el modelo de aprendizaje significativo**

#### **3.1 La unidad didáctica como herramienta de aprendizaje**

Una de las condiciones más importantes de enseñar ciencias se direcciona a pensar en cómo hacerlo, sin descuidar otras condiciones necesarias: qué se va a enseñar y bajo qué modelo, ya que los contenidos deben ser enriquecidos mediante una buena pedagogía y didáctica, para llegar a los estudiantes con una propuesta innovadora, novedosa y atractiva que aborde no solo los contenidos (conceptos) sino además las ciencias experimentales (el laboratorio).

Las unidades didácticas tienen como propósito aportar herramientas que brinden respuestas acerca de cómo enseñar los contenidos en ciencias a los estudiantes, ofreciendo una apropiación del conocimiento científico y la generación de actitudes hacia la ciencia, además de crear conciencia sobre los nuevos hechos científicos, el papel que desempeñan los seres humanos en la ciencia y en la humanidad así como la resolución de problemas cotidianos, sociales y culturales. Esto permite que el estudiante tenga una visión dinámica de las ciencias y no una visión estática.

Otras bondades que presentan las unidades didácticas es que permiten la participación activa de los protagonistas de la educación (estudiantes, profesores, directivos y en algunos casos la misma sociedad) ya que la creación, planeación y ejecución se encuentra a cargo de todos en mayor o en menor proporción permitiendo ser partícipe del proceso de enseñanza-aprendizaje. Así mismo, la creación de unidades didácticas permite que algunos contenidos no queden en el reduccionismo (por ejemplo la síntesis orgánica y los mecanismos de reacción), ya que la implementación de estas herramientas permite crear otros modelos más prácticos y menos traumáticos para los profesores pues algunos temas o contenidos generan ansiedad o simplemente no son tenidos en cuenta en el currículo.

Otro aspecto importante, flexible en las unidades didácticas, es el modelo de enseñanza y la forma de comunicar ciencia. Ya sea por descubrimiento, resolución de problemas o por aprendizaje significativo, permitiéndole al profesor elegir el modelo más apropiado para responder a sus necesidades y los diferentes lenguajes de comunicar el conocimiento científico, estos aspectos son relevantes a la hora de qué enseñar en ciencias y en la forma de cómo hacerlo.

Para Shulman, existe una gran relación entre el objeto de estudio, la pedagogía y la didáctica de las ciencias, ya que para la comprensión de ciertos tópicos de las ciencias las herramientas o instrumentos deben ser organizados de acuerdo a las habilidades e intereses de los estudiantes, es así como se permitieron encontrar tipos de conocimientos

básicos para la enseñanza, que pueden ser útiles a la hora de generar unidades didácticas:<sup>30</sup>

- Conocimiento pedagógico
- Conocimiento curricular
- Conocimiento de los estudiantes
- Conocimiento del contenido a enseñar
- Conocimiento de la historia de las ciencias.

Estos conocimientos orientan las unidades didácticas en aspectos relevantes como: ¿Qué herramientas deben utilizar los profesores para la comprensión de las ciencias?; ¿Qué contenidos y cómo se pueden abordar?; ¿Cómo afrontan los estudiantes el trabajo experimental?; ¿Cómo evaluar el trabajo y lo aprendido?; ¿Cómo se apropian de los conocimientos científicos tanto enseñados, modificados y aprendidos?

### **3.2 El papel de las prácticas de laboratorio en la unidad didáctica**

Cada vez se hace más necesario en los contextos de secundaria la urgencia de diseñar propuestas de innovación que presenten a los estudiantes alternativas didácticas, metodológicas y pedagógicas que les permitan vivenciar la naturaleza y los hechos científicos de una manera significativa para así construir nuevo conocimiento a partir de experiencias científicas o cotidianas. Así mismo, cualquier alternativa didáctica (en este caso la unidad didáctica) debe tener como partícipe principal el interés de los estudiantes que bien en un comienzo navegan en una temática, pero son ellos quienes después deberán prácticamente definir las temáticas y los problemas a trabajar. Estos procesos de construcción del conocimiento deben tener matices innovadores, transformadores, dinámicos y de un carácter altamente vivencial.

Las propuestas experimentales de la unidad didáctica debe ser un facilitador entre los conocimientos previos y la resignificación de los nuevos conceptos que elaborarán los estudiantes mediante criterios claros, precisos y concretos que aporta esta herramienta.

Las prácticas en ciencias juegan un papel importante en la construcción del conocimiento que vincula al estudiante no solo con la actividad científica sino con la alfabetización científica. Ya que las prácticas de laboratorio deben ser vistas como una dinámica entre las relaciones de enseñanza-aprendizaje en las ciencias y la construcción de nuevo conocimiento científico, dado que los estudiantes representan el mundo y su naturaleza a partir de las vivencias significativas que han tenido en él.

Las prácticas de laboratorio deben aproximar a los estudiantes a los eventos del mundo natural con experiencias básicas en las cuales resuelvan problemas básicos o los detecten, el estudiante debe sentir inquietud y mucho interés en estas prácticas iniciales para empezar la aproximación hacia la ciencia de una manera segura, real y maravillosa.

---

<sup>30</sup> TAMAYO, Oscar. 2005. Aportes de la naturaleza de la ciencia y del contenido pedagógico del conocimiento para el campo conceptual de la educación en ciencias. Enseñanza de las ciencias, Número extra. VII congreso.

Estas prácticas o experiencias básicas deben ser relaciones alternativas entre lo cotidiano y la aproximación científica de una modelación donde estudiante y maestro comiencen a encadenar las características propias de las relaciones de enseñanza-aprendizaje de las ciencias. En estas prácticas alternativas el estudiante debe considerar, que él es un protagonista de su conocimiento y de sus experiencias científicas y que el profesor es un mediador que “no lo sabe todo”, en este sentido el estudiante empieza la reformulación y contrastación de sus significados y emprende una reconstrucción de conceptos previos que es permanente. Para facilitar este trabajo es necesario fortalecer los espacios donde se lleven a cabo estas experiencias experimentales.

No obstante, esta dinámica de las prácticas iniciales debe tener unas características que realmente sean productivas para su posterior desempeño en la actividad científica. Una de ellas es que no solo realice descripciones de los eventos sino que se sumerja en los ejercicios de pensamiento, es decir, que empiece a indagar sobre los hechos trabajados y contruidos, cuestionando estas experiencias básicas con contrastación de teorías, enfoques y nuevas formulaciones científicas. Las prácticas de modelación son importantes para recorrer el camino de la alfabetización científica en sus etapas iniciales, pero se debe tener en cuenta que el fin de las prácticas es inquietar al estudiante hacia sus propios modelos de ciencia, no de forma reduccionista pero sí con una visión integral del conocimiento científico, donde el estudiante indague, resuelva, formule y dinamice su pensamiento crítico científico adquirido durante las experiencias básicas y de modelación.

### **3.3 Componente didáctico: construcción del conocimiento desde un enfoque significativo**

En la actualidad se ha notado un auge de diferentes enfoques cognitivos, que permiten el estudio, investigación y diseño de nuevas herramientas para determinar el proceso de adquisición del conocimiento por el ser humano desde sus etapas más primarias hasta la secundaria e inclusive en la universidad. La creencia de que el ser humano puede moldearse, formarse y estructurar la forma en que aprende teniendo en cuenta características ambientales y no determinadas por ningún patrón común, ha sido cambiado gradualmente por la idea de que el ser humano aprende de forma sistemática, procedimental de acuerdo a contextos y situaciones altamente estimulantes y determinadas por aprendizajes significativos.<sup>31</sup>

El hecho de que el sujeto (el estudiante) pueda aprender desde un ambiente propiciado, estimulado y con alto significado en sus propios intereses, ha contribuido a poner en evidencia los modelos inadecuados de enseñanza basados en exposiciones o memorísticos que muestran y presentan papeles pasivos tanto de los estudiantes como del profesor. Otro factor determinante en el enfoque de aprendizaje significativo es que tanto estudiante como profesor tienen una interacción en el proceso de enseñanza y de aprendizaje, ambos juegan un papel determinante en la planeación, en las actividades, concertación del conocimiento, y preparación de los entornos, proporcionando ambientes

---

<sup>31</sup> NOVAK, Joseph. 1985. Teoría y práctica de la educación. Barcelona. Editorial Alianza Universidad.

favorables para la adquisición del conocimiento. En este proceso se distinguen tres fases importantes: el estudiante que está llevando a cabo un aprendizaje; el objeto u objetos del conocimiento que constituyen el contenido del aprendizaje, y el profesor que actúa, es decir que enseña, con el fin de favorecer el aprendizaje de los estudiantes.<sup>32</sup> Esta visión del proceso enseñanza - aprendizaje propone un cambio respecto a algunas utilidades habituales del concepto aprendizaje significativo, y sobre los mecanismos que hacen posible que el profesor enseñe, que el estudiante aprenda y construya su propio conocimiento, y que ambos lleguen a compartir, el significado y el sentido de lo que hacen, permitiendo así una apropiación de los contenidos y objetivos por ejemplo, de la química orgánica. Para entender lo expuesto anteriormente se hace necesario conocer algunos aspectos que guían la teoría del aprendizaje significativo de Ausubel y su relación con las unidades didácticas.

### **3.4 Teoría del aprendizaje significativo**

Para Ausubel, el aprendizaje significativo es un proceso por el cual se relaciona nueva información con algún aspecto ya existente en la estructura cognitiva de un individuo y que sea relevante para el material que intenta aprender.<sup>33</sup> El estudiante como sujeto activo de su aprendizaje es quien construye sus conocimientos y sus significados a partir de sus preconcepciones, por ello él es quien realiza y contribuye a diseñar materiales novedosos para el aprendizaje, claro está con la dirección y planeación de su profesor.<sup>34</sup> La idea esencial de la tesis constructivista subyace al concepto del aprendizaje significativo en que el aprendizaje, que lleva a cabo el estudiante, no puede entenderse únicamente a partir de un análisis externo y objetivo de qué se enseña y de cómo se enseña, sino que es necesario tener en cuenta, además, las interpretaciones subjetivas que el propio estudiante construye a este respecto según su propia realidad.

Para conseguir un aprendizaje significativo, el estudiante debe crear relaciones alrededor de objetos, eventos, conceptos y principios, que es el elemento básico del conocimiento. Con los objetos y eventos generará significados, y con las irregularidades de estos, que se codificarán simbólicamente, representará conceptos.

Las condiciones para llegar a este aprendizaje significativo son las de adquirir material potencialmente significativo con la posibilidad de establecer relaciones, disponibilidad de ideas pertinentes en la estructura cognitiva del que aprende y disposición para relacionar de manera no arbitraria la información que se le presenta al estudiante con lo que ya sabe. Busca construir significados válidos desde sus vivencias diarias, y se refiere al contenido cognitivo diferenciado que evoca en el estudiante un símbolo dado, que aún no tiene significado para él y es relacionado de manera no arbitraria sino sustancial con las ideas pertinentes de su estructura cognitiva, interactuando correspondientemente con

---

<sup>32</sup> SALVADOR, César. 1986. Acción, interacción y construcción del conocimiento en situaciones educativas. Revista de educación. 9-21.

<sup>33</sup> NOVAK, Teoría y práctica de la educación, op. cit., p.30.

<sup>34</sup> SALVADOR, César. 1991. Significado y sentido en el aprendizaje escolar. Reflexiones en torno al concepto de aprendizaje. Infancia y aprendizaje. P.131-142.

ésta. El producto de su interacción es el significado de la expresión simbólica recién aprendida y en lo sucesivo será evocado cuando esta última se presente.<sup>35</sup>

En esta concepción Ausubel, presenta tres tipos de aprendizaje significativo: receptivo, de conceptos y de proposiciones. Estos tipos de aprendizaje están relacionados en la Figura 15. El primero, hace relación a los símbolos y a la explicación o representación de estos por medio de material didáctico y ayudas audiovisuales; el segundo, busca la representación con símbolos aislados de la misma manera que los referentes unitarios, las frases y proposiciones se refieren a conceptos y una idea compuesta se genera de una oración con palabras aisladas, en la cual, cada una representa un concepto ; y el tercero, busca que las proposiciones verbales expresen diferentes ideas a las dadas en un principio.<sup>36</sup>

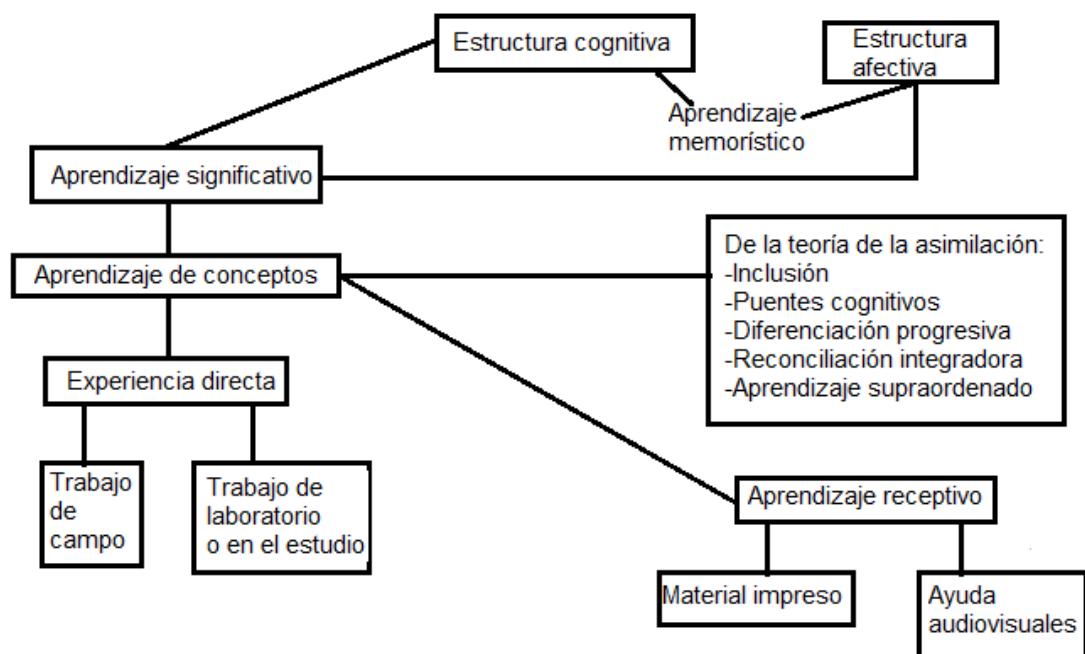


Figura 15. Tipos de aprendizaje significativo  
Adaptado del libro Teoría y práctica de la educación de Novak.

### 3.4.1 Jerarquía conceptual

A medida que tiene lugar el aprendizaje significativo, se produce necesariamente un desarrollo y elaboración de los conceptos. Este desarrollo de conceptos es muy eficaz cuando los elementos más generales de un concepto se presentan en primer lugar y a

<sup>35</sup> AUSUBEL, David; NOVAK, Joseph. 1983. Psicología educativa: Un punto cognoscitivo. Nueva York. Editorial Holt, Rinehart and Winston.

<sup>36</sup> Ibíd., p.32.



continuación se van diferenciando de manera progresiva en cuanto a detalles y especificidad.

La jerarquía conceptual es muy importante porque nos permite seleccionar los conceptos que se esperan enseñar para luego buscar una relación jerárquica. Es por ello que se busca que los conceptos sean principalmente aquello con lo que pensamos y que el aprendizaje de conceptos sea la función primordial de la enseñanza. Por lo tanto, hay que seleccionar del conjunto de conocimientos los conceptos principales y los conceptos subordinados que se desean enseñar. Una visión general de lo anterior se puede ver en la Figura 16. En esta figura se muestra la jerarquía conceptual (letras) que muestra las secuencias de instrucción (números) para la obtención de una diferenciación progresiva de los conceptos de orden superior a inferior.

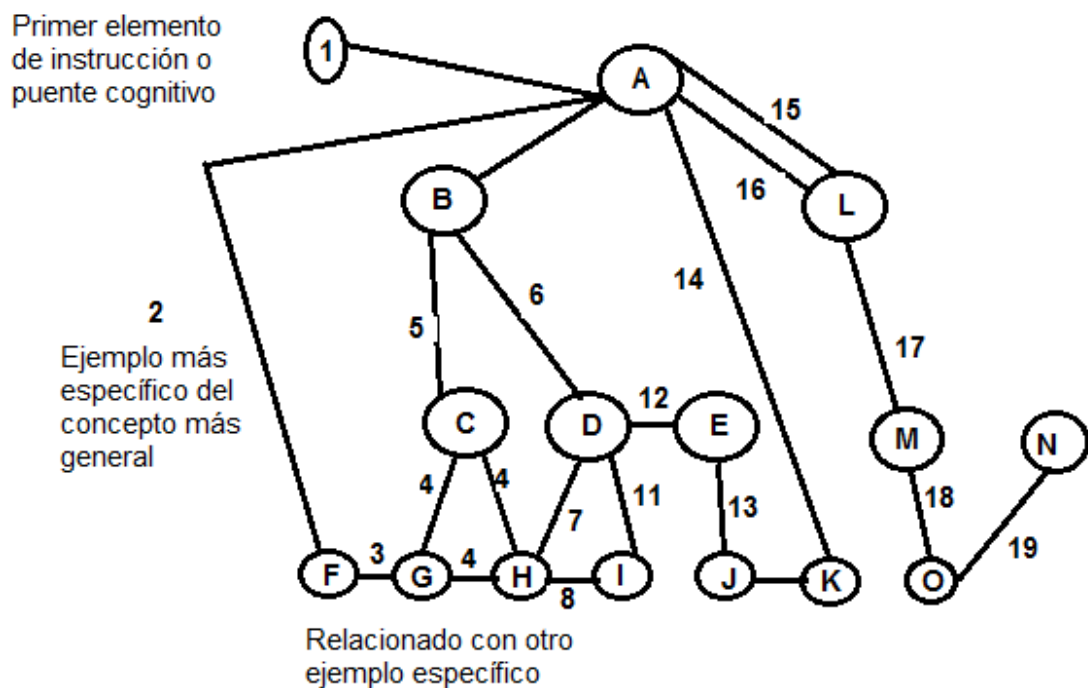


Figura 16. Esquema de jerarquía conceptual de Novak  
Adaptado del libro Teoría y práctica de la educación de Novak.

### 3.4.2 Aprendizaje por inclusión

Para lograr cualquier tipo de aprendizaje significativo, se debe partir de la base que la estructura cognitiva está organizada jerárquicamente con respecto al nivel de abstracción, generalización e inclusividad, y el surgimiento de nuevos significados es una relación subordinada de lo nuevo con la estructura cognoscitiva, es decir, se deben incluir

proposiciones potencialmente significativas en ideas más amplias y generales de la estructura cognoscitiva existente. Esto es necesario tenerlo en cuenta para adecuarlo al diseño de la unidad didáctica.

La inclusión de proposiciones en la estructura cognitiva se realiza teniendo en cuenta una de las siguientes formas:<sup>37</sup>

-Inclusión derivativa: se realiza a través de un ejemplo concreto de las ideas ya establecidas en la estructura cognitiva del que aprende.

-Inclusión correlativa: Se realiza a través de la ampliación o modificación de la idea ya establecida en la memoria que incluya a la anterior.

-El aprendizaje que se realiza en forma inclusiva logra que las ideas se establezcan adecuadamente en la estructura cognitiva porque: A) Tiene pertenencia directa y específica máxima para ulteriores tareas del aprendizaje, B) Tiene un poder explicatorio para interpretar detalles factuales que de otro modo serían arbitrarios pero que son potencialmente significativos, C) Da una estabilidad intrínseca suficiente como para proporcionar el tipo más firme de afianzamiento para los significados detallados que se aprenden por primera vez Y D) Organizan nuevos hechos relacionados en torno de un tema común, con los elementos componentes del conocimiento nuevo, tanto recíprocamente como con el conocimiento existente.<sup>38</sup>

Ausubel, aboga por un aprendizaje subordinado, siempre que sea posible, y para ello recomienda el uso de organizadores previos y el principio de diferenciación progresiva como complemento esencial en un buen aprendizaje por inclusión.

### **3.4.3 Organizadores previos**

Los organizadores previos son materiales introductorios que se utilizan al iniciar la unidad didáctica y que son apropiadamente pertinentes e inclusivos, con el máximo de claridad y estabilidad; se introducen antes del material y se usan para facilitar que se establezca una disposición del aprendizaje significativo, ayudan a quien aprende a reconocer en los nuevos materiales elementos que se pueden aprender de manera significativa relacionándolos con aspectos de su estructura cognoscitiva y contextual que son especialmente relevantes. En este caso, los organizadores previos servirían de puente cognitivo para relacionar fácilmente los inclusive relevantes existentes, con el material nuevo que se aprendiera. Esto se muestra en la Figura 17, en donde el puente cognitivo (P.C) sirve para facilitar la relación de la información nueva con los conceptos existentes (C.P) en la estructura cognitiva, o para relacionar los conceptos aprendidos anteriormente, facilitando de este modo la relación integradora.<sup>39</sup>

La razón principal para el uso de organizadores previos, es que el estudiante disponga de elementos en su estructura cognitiva con los que pueda conectar las nuevas ideas que se

---

<sup>37</sup>OTERO, José. 2010. El aprendizaje de los conceptos científicos en los niveles medio y superior de la enseñanza. Revista de educación. p 39-55.

<sup>38</sup> AUSUBEL NOVAK, Psicología educativa: Un punto cognoscitivo, op. cit., p.32.

<sup>39</sup> NOVAK, Teoría y práctica de la educación, op. cit., p.30.

presentan para ser aprendidas; por eso es importante conocer las ideas fundamentales ya establecidas en la estructura cognitiva de quien aprende para su diseño adecuado.<sup>40</sup>

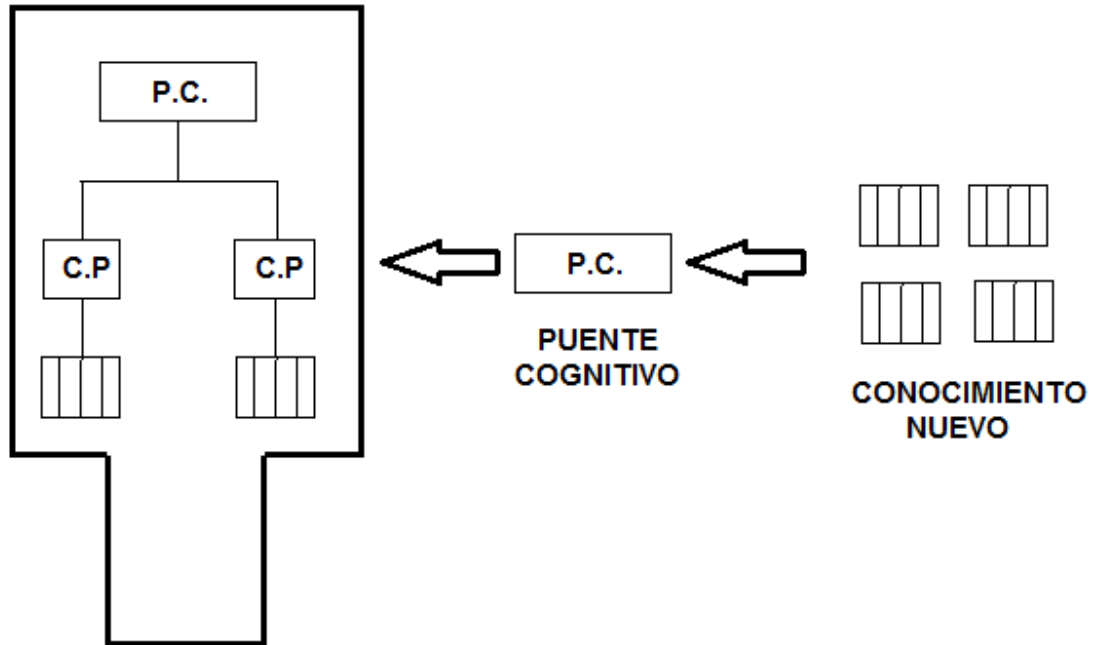


Figura 17. Organizadores previos según Novak  
Adaptado del libro Teoría y práctica de la educación de Novak.

Las razones principales del uso de organizadores previos son:

- La importancia de tener ideas pertinentes y adecuadas de otra manera, ya disponibles en estructura cognitiva, para conferir significado lógico a las ideas nuevas que apenas lo tienen en potencia, así como para afianzarlas establemente.
- Facilita la adquisición de ideas nuevas, al emplear ideas más generales e inclusivas de una disciplina como ideas de afianzamiento o clasificadoras.
- Permite identificar el contenido pertinente que ya existe en la estructura cognitiva como modo de indicar una forma explícita de pertenencia del contenido, como su pertenencia propia respecto del nuevo material de aprendizaje.<sup>41</sup>

Los tipos de organizadores previos que existen son:

<sup>40</sup> OTERO, El aprendizaje de los conceptos científicos en los niveles medio y superior de la enseñanza, op. cit., p.34.

<sup>41</sup> AUSUBEL NOVAK, Psicología educativa: Un punto cognoscitivo, op. cit., p.32.

*Comparativos:* Se usan en caso de material de aprendizaje familiar y como medio de contextualización. Se utilizan para integrar las ideas nuevas con conceptos similares de la estructura, así como para aumentar la discriminación de las ideas nuevas y las existentes que sean diferentes en esencia pero desorientadamente parecidas.

*Perceptuales:* Los cuales tienen el efecto integrador, que contribuyen a hacer distensiones ideativas o que recalca conceptos centrales y revela la estructura organizativa del material.

La ventaja de construir un organizador especial para la unidad didáctica, consiste en que solo de esta manera pueda el estudiante aprovechar las ventajas de un clasificador que le da una visión general del material antes de que se enfrente con él, suministrándole elementos organizadores que son inclusivos y que tienen en cuenta lo más pertinente y eficaz del contenido en particular, permitiéndole una contextualización del contenido y creando en esta forma la primera condición para la apropiación de las competencias.

#### **3.4.4 Diferenciación progresiva**

El aprendizaje significativo se facilita cuando se introduce en primer lugar ideas muy generales e inclusivas que sirven para comprender información más concreta; un concepto muy general adquirido al comienzo del proceso de aprendizaje se modifica gradualmente, adquiriendo nuevos significados que lo diferencien progresivamente. En esta medida Ausubel recomienda que la enseñanza comience por la presentación de conceptos poco diferenciados, y aprovecha los elementos existentes en el medio del estudiante y se mueva hacia conceptos más precisos y relevantes.<sup>42</sup>

Se puede asumir que es más fácil aprender de aspectos diferenciados ya aprendidos, que formularlo a partir de sus componentes diferenciados ya aprendidos. La organización del contenido debe ser una estructura jerárquica donde las ideas más inclusivas son el principio e incluyen las preposiciones, conceptos, y datos fácticos progresivamente menos inclusivos y más finamente diferenciados.

La diferenciación progresiva de la materia empleando una serie jerárquica de organizadores (en orden descendente de inclusividad), donde cada organizador precede a la correspondiente unidad del material detallado y diferenciado; y ordenando el material de la unidad por grupos descendentes de inclusividad; generará conceptos adecuadamente pertinentes y proporcionará un armazón ideativo a la unidad así como a las distintas unidades relacionadas entre sí, se diferenciarán progresivamente también pues están organizadas en orden de inclusividad. Por consiguiente, cuando se expone primero a los estudiantes organizadores que les ofrezcan principios pertinentes y de inclusividad adecuados, estarán más capacitados para aprender y retener el material ideativo completamente desconocido, condición básica para que el estudiante pueda

---

<sup>42</sup> *Ibíd.*, p.32.

crear la capacidad de establecer la relación entre los conceptos en nuestro caso de reacciones y obtenciones químicas para la apropiación de conceptos.<sup>43</sup>

### **3.4.5 Un material potencialmente significativo**

Se dice que un material es potencialmente significativo cuando, por una parte, el material de trabajo no es arbitrario y por el contrario, se relaciona de modo intencionado y sustancial con las ideas pertinentes que se manejan, mostrando la suficiente intencionalidad y relación con las ideas pertinentes para aprender, relacionándolos con ejemplos, productos, casos especiales, extensiones, elaboraciones, modificaciones y generalizaciones más inclusivas generadas desde el hábitat del estudiante. Y por otra parte, el material da lugar a la construcción de conceptos potencialmente significativos que determinan su potencialidad cognoscitiva, creativa. Así mismo el material ofrece una intención para el aprendizaje con las ideas pertinentes que se hallan al alcance de la capacidad humana.<sup>44</sup>

Esta significatividad potencial depende del contenido, la estructura interna organizada, ya que sus partes fundamentales tienen significados entre sí y se relacionan de modo no arbitrario y de la manera como se presentan al estudiante se determina su capacidad para generar un proceso científico y educativo.

---

<sup>43</sup> OTERO, El aprendizaje de los conceptos científicos en los niveles medio y superior de la enseñanza, op. cit., p.34.

<sup>44</sup> AUSUBEL NOVAK, Psicología educativa: Un punto cognoscitivo, op. cit., p.32.

**Anexo A:**

## CONCLUSIONES

- Se diseñó una unidad didáctica soporte de la explicación de síntesis de funciones oxigenadas con reactivos de Grignard, como solución a la ausencia de material de apoyo en la enseñanza de química orgánica, para estudiantes de bachillerato de básica media.
- Se realizó una profundización histórica-epistemológica que abordó varios estadios de la química orgánica, buscando fundamentar los aspectos más importantes de las reacciones químicas y de los mecanismos de reacción, conceptos claves para la enseñanza teórica y práctica en la preparación de funciones oxigenadas a partir de reactivos de Grignard.
- Debido a que la organización general de la unidad didáctica está dada por un principio de secuencialidad y gradualidad, la información que aparece busca estructurar fundamentalmente un cuerpo adecuado de conceptos que preparen al estudiante a enfrentarse con mayor facilidad a la producción de algunas funciones oxigenadas.
- El diseño de la unidad didáctica basada en el aprendizaje significativo de Ausubel y la teoría de la educación de Novak, es una herramienta útil porque estimula en el estudiante un enfoque activo, crítico, reflexivo, y analítico, donde ellos expresan sus ideas; además favorece el aprendizaje por inclusión, es decir, ordenando de tal forma que se muestre la manera de conectar ideas nuevas con las que posee en su estructura cognoscitiva.

## RECOMENDACIONES

- Además de obtener alcoholes y ácidos a partir de un compuesto carbonílico y un reactivo de Grignard, la versatilidad de estos últimos permiten sintetizar otros grupos funcionales como son las amidas, alcanos, cetonas entre otros, de una misma manera sencilla y práctica.
- Aplicar y evaluar la unidad didáctica a estudiantes de undécimo grado de colegios Liceo Campo David y Mallerland del Distrito Capital de una manera gradual, además se puede tener en cuenta la obtención de otros grupos funcionales; realizando para cada uno de ellos unidades didácticas que permitan construir un paquete integral en el estudio de la química orgánica.
- Se recomienda que el docente, antes de iniciar cualquier proceso de enseñanza, compare el contenido de la unidad didáctica con su programa de química orgánica, con el fin de facilitar la inclusión de los temas relacionados con alcoholes y su obtención a partir de compuestos carbonílicos y un reactivo de Grignard.



## BIBLIOGRAFÍA

- ASIMOV, I. (1996). *Breve historia de la química*. Madrid: Alianza editorial. 94-117, 163-177p.
- ASIMOV, I. (1973). *Introducción a la ciencia*. Buenos Aires: Plaza & Janes. Segunda parte.
- ASTRUC, D. (2003). *Organometallic Chemistry*. Barcelona: Reverté, S.A. 293-296p.
- AUSUBEL, D., & NOVAK, J. (1983). *Sicología educativa: un punto de vista cognoscitivo*. Nueva York: Holt, Rinehart & Winston.
- COLL, C., 1996. *Aprendizaje escolar y construcción del conocimiento*. Barcelona. Paidós Educador. Pág. 133 – 151, 189 – 206.
- BROCK, W. (1998). *Historia de la química*. Madrid: Alianza Editorial. 431-481p.
- DOUGLAS, E. (1994). *Conceptos y modelos de química inorgánica*. Barcelona: Reverté, S.A. 436-441p.
- FEYERABEND, P. K. (1989). *Contra el método*. Barcelona: Ariel, S.A. 78-124p.
- GALLAGHER-BOLOS, J., y SMITHENRY, D. (2004): *Teaching Inquiry-Based Chemistry*, Portsmouth, UK, Heinemann.
- GRIBBIN, J. (2006). *Historia de la ciencia*. Barcelona: Crítica, S.L. 297-328p.
- JENKINS, P. (1992). *Organometallic reagents in synthesis*. Oxford: Oxford science publications. 1-6p.
- KLAGES, F. (1969). *Tratado de la química orgánica*. . Berlín: Reverté, S.A. 823-824p.
- KUHN, T. (1986). *La estructuras de las revoluciones científicas*. Chicago: Fondo de cultura económica. 80-224p.
- LAFUENTE, S. V., BURGUETE, M. I., & ALTAVA, B. (1997). *Introducción a la química orgánica*. Castelló: Universita Jaume I, D.L. 19-32p.
- NOVAK, J. (1985). *Teoría y práctica de la educación*. Barcelona: Alianza universidad.
- OTERO, J. (2010). El aprendizaje de los conceptos científicos en los niveles medio y superior de la enseñanza. *Revista de educación* , 39-55.
- PAPP, D. (1996). *Historia de las ciencias* . Santiago de Chile: Andrés Bello. 225-228p.
- PORLAN, R., GARCÍA, E. J., CAÑAL, P., 1995. Constructivismo y Enseñanza de las Ciencias. 2ª Edición Diada Editores. Pág. 41-71, 91-113.

PORTELA, M. E. (1999). *La química ilustrada*. Madrid: AKAL. 11-19p.

SALVADOR, C. (1986). Acción, interacción y construcción del conocimiento en situaciones educativas. *Revista de educación* , 9-21.

SALVADOR, C. (1991). Significado y sentido en el aprendizaje escolar. Reflexiones entorno al concepto de aprendizaje. *Infancia y aprendizaje*. , p131-142.

SHULMAN, L. (1986). Those who understand: knowledge growth in teaching. *Educational researcher*, p15, 2, 4-14.

SYKES, Peter. 1986. A guidebook to mechanism in organic chemistry. London. Longman. Sixth ediction. 2-30p.